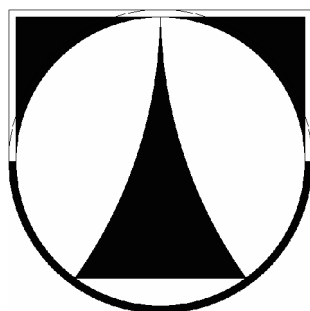


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**

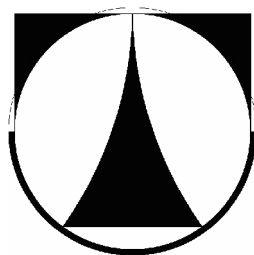


**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

KATEDRA ODĚVNICTVÍ



Studijní program: 3107

Studijní obor: Technologie a řízení oděvní výroby

## **Ohybové vlastnosti plošných textilií. Metody měření**

**The bending properties of fabrics. The methods of measuring**

Aronová Marie

KOD 160

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Zuzana Fléglová

**Rozsah práce:** 61 stran

**Počet obrázků:** 30

**Počet tabulek:** 14

**Počet příloh:** 26

## Anotace

Název: OHYBOVÉ METODY PLOŠNÝCH TEXTILIÍ. METODY MĚŘENÍ

Tématem bakalářské práce bylo zjišťování ohybových vlastností plošných textilií a metodika jejich měření. Cílem bylo provést měření ohybové tuhosti na různých typech přístrojů pro vybrané vzorky a následné vyhodnocení zjištěných výsledků.

Práci tvořily dvě oblasti. Jednalo se o část teoretickou, která vysvětlovala pojem a způsob hodnocení ohybové tuhosti a s ní související splývavost a mačkovost.

Experimentální část popisuje provedení a vyhodnocení ohybové tuhosti, provedené na čtyřech různých typech přístrojů: FLEXOMETR FF20, TH – 5, GRAVIMETRICKOU METODOU a KES – FB -2.

Závěr byl vyvozen z výsledků měření.

Klíčová slova: ohybová tuhost, ohybový moment, splývavost,

## Annotation

Theme: BENDING PROPERTIES OF FABRICS. METHODS OF MEASURING

The theme of this bachelor thesis was to get bending properties of fabrics and methods of its measuring. The aim of the work was to realize the measuring of rigidity bending with different instruments types by chosen samples and then to confront the outcomes.

The work was composed of two parts. The first theoretic part showed the idea and the way of rigidity bending evaluation. In this part was explained the definition of a drape and a crease.

The experimental part described the measuring and the evaluation of rigidity bending. It was realized with four types of instruments: Flexometer FF20, TH – 5, gravimetric method and KES – FB – 2.

The result was made out of measuring outcomes.

Key words: bending of rigidity, bending moment, drape

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Fléglové za její trpělivost, ochotu při vedení mé bakalářské práce a čas, který mi věnovala. Zároveň bych chtěla poděkovat Ing. Porkerové a Ing. Fridrichové za cenné konzultace, které mi byly poskytnuty s příkladným přístupem učitele ke studentovi.

V neposlední řadě můj vděk patří mojí rodině a přátelům, kteří mi byli oporou po celý čas mých studií.

Děkuji

## Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2 Teoretická část .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Mechanické vlastnosti .....</b>	<b>11</b>
2.1.1 Odolnost a stálosti plošných textilií .....	12
2.1.2 Časově závislé deformační procesy: .....	13
<b>2.2 Tuhost v ohybu, splývavost a mačkavost textilie.....</b>	<b>13</b>
2.2.1 Tuhost v ohybu .....	13
2.2.2 Splývavost textilie.....	14
2.2.3 Mačkavost textilie.....	14
<b>2.3 Ohybový moment .....</b>	<b>14</b>
2.3.1 Vetknutý nosník zatížený vlastní tíhou: .....	16
2.3.2 Vetknutý nosník namáhaný silou: .....	17
2.3.3 Vetknutý nosník namáhaný ohybovým momentem: .....	18
<b>2.4 Metody měření .....</b>	<b>19</b>
2.4.1 Metody stanovení tuhosti v ohybu .....	19
2.4.1.1 Sommerova metoda .....	20
2.4.1.2 Metoda Cantilever Test .....	22
2.4.1.3 Gravimetrická metoda .....	23
2.4.1.4 Přístroj TH- 5.....	24
2.4.1.5 KES FB – 2 .....	25
2.4.1.6 Schieffera metoda .....	28
2.4.2 Metody stanovení splývavosti .....	29
2.4.2.1 Metoda měření splývavosti průmětem .....	29
2.4.2.2 Metoda měření splývavosti pomocí počítačového zpracování obrázku .....	30
2.4.2.3 Měření splývavosti ohybem přes ostrý roh .....	31
2.4.3 Metody měření mačkavosti .....	32
2.4.3.1 Jako nejběžnější metoda je měření úhlu zotavení: .....	32
2.4.3.2 Metoda skládaného proužku textilie .....	33
<b>3 Experimentální část .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Metodika měření ohybu.....</b>	<b>34</b>
3.1.1 Měření Flexometrem FF20.....	36
3.1.2 Měření na přístroji TH – 5.....	38
3.1.3 Měření gravimetrickou metodou .....	40
3.1.4 Měření na přístroji KES FB – 2.....	42
<b>3.2 Vyhodnocení měření .....</b>	<b>44</b>
<b>3.3 Korelace a regrese .....</b>	<b>46</b>
3.3.1 Korelace a regrese mezi použitými metodami.....	48
3.3.1.1 TH – 5 / FLEXOMETR FF20 .....	48
3.3.1.2 TH – 5 / GRAVIMETRICKÁ METODA.....	49
3.3.1.3 TH – 5 / KES FB-2 .....	51
3.3.1.4 KES FB -2 / FLEXOMETR FF20 .....	52
3.3.1.5 KES FB – 2 / GRAVIMETRICKÁ METODA .....	54
3.3.1.6 GRAVIMETRICKÁ METODA / FLEXOMETR FF20.....	55
3.3.2 Porovnání výsledků.....	57
<b>4 Závěr .....</b>	<b>58</b>
<b>5 Seznam použité literatury .....</b>	<b>60</b>
<b>6 Seznam příloh.....</b>	<b>61</b>
Přílohová část	
Vzorky materiálů	

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

symbol	popis	jednotky
$2HB$	hystereze ohybového momentu na jednotku délky	[Nm/m]
$B$	ohybová tuhost vztažená na jednotku délky	[Nm <sup>2</sup> /m]
$b$	šířka vzorku	[m]
$b_p$	výška průřezu	[m]
$D$	Vnější průměr	[m]
$d$	Vnitřní průměr	[m]
$c$	ohybová délka	[m]
$E$	modul pružnosti materiálu v tahu	[Pa]
$F$	hodnota naměřené síly	[N]
$G$	tíhová síla	[N]
$g$	gravitační zrychlení	[m.s <sup>-1</sup> ]
$h_p$	výška průřezu	[m]
$J$	kvadratický moment plochy	[m <sup>4</sup> ]
$K$	zakřivení	[cm <sup>-1</sup> ]
$l$	délka převisu vzorku	[m]
$lc$	původní délka volné části vzorku	[m]
$l_z$	délka po zotavení	[m]
$l_0$	původní délka	[m]
$L$	práce potřebná k ohnutí vzorku	[Nm]
$M_o$	ohybový moment	[Nm]
$Ma$	moment v bodě A	[Nm]
$Mx$	moment v místě řezu	[Nm]
$Nx$	normálová síla v místě řezu	[N]
$p$	poloměr křivosti	[m]
$q$	spojité zatížení způsobené vlastní hmotností vzorku	[N/m]
$R_{ay}$	reakce v bodě A v ose y	[N]
$R_{ax}$	reakce v bodě A v ose x	[N]
$r$	poloměr	[m]
$r_k$	korelační koeficient	[ - ]
$S$	plocha zkoušeného vzorku	[cm <sup>2</sup> ]
$\overline{S_p}$	průměrná plocha průmětů zkoušených vzorků	[cm <sup>2</sup> ]
$S_m$	plocha mezikruží, tj. plocha vzorků způsobilá ke splývání	[cm <sup>2</sup> ]
$S_x$	směrodatná odchylka z hodnot x	[ - ]
$S_y$	směrodatná odchylka z hodnot y	[ - ]
$T$	tuhost v ohybu	[Nm <sup>2</sup> ]
$T_{\alpha ji}$	tuhost v měřeném směru	[Nm <sup>2</sup> ]
$T_x$	tečná síla v místě řezu	[N]
$W_o$	modul průřezu v ohybu	[m <sup>3</sup> ]
$\overline{X}$	průměrná hodnota z naměřených hodnot na ose x	[ - ]
$\overline{Y}$	průměrná hodnota z naměřených hodnot na ose y	[ - ]
$z$	vzdálenost vlákna od těžiště průřezu	[m]
$Z$	relativní hodnota zotavení	[%]
$\alpha$	úhel převisu zkoušeného vzorku	[°]

$\varepsilon$	relativní prodloužení	[ - ]
$\gamma$	délková měrná tíha	[Nm <sup>-1</sup> ]
$\theta$	úhel, který svírá spojnice počátku a konce vetknuté textilie	[ ° ]
$\rho$	plošná měrná hmotnost	[kg.m <sup>-2</sup> ]
$\rho_d$	délková měrná hmotnost	[kgm <sup>-1</sup> ]
$\sigma$	napětí	[Pa]

**zkratka**

**popis**

č.	číslo
např.	například
obr.	obrázek
PES	polyester
s	sekunda
tzv.	takzvaný
viz.	k, vidět

## 1 Úvod

Jedna z nejdůležitějších materiálových charakteristik plošných textilií, která ovlivňuje estetické a především mechanické vlastnosti látek je ohybová tuhost. Tuhostí v ohybu rozumíme vnitřní silovou odezvu textilie na porušení, zapříčiněné vnější silou nebo vlastní tíhou látky. Tento přirozeně vznikající odpor je v podstatě součtem všech třecích a soudržných sil, které při zatěžování textilie vznikají mezi vlákny a mezi nitěmi v tzv.vazných bodech. Z toho plyne, že tkaniny s vyšší dostavou a pleteniny s vyšší hustotou budou vykazovat vyšší hodnoty tuhosti v ohybu.

Současný oděvní průmysl prokazuje ohybovou tuhost nepříliš kvalitativně hodnotnými metodami. Většina z níže uvedených zkoušek je nevyhovujících s ohledem na časovou náročnost a z hlediska požadované přesnosti. Výsledek charakterizuje pouze jedna numerická hodnota, pro kterou neexistuje systém zařazení plošné textilie.

Novou a přesnou metodou je zkouška na přístroji KES-FB-2. Ten umožňuje měřit ohybový moment vzorku pod definovaným zakřivením. Tato metoda je velice přesná rychlá a přístroj sám získané údaje zpracovává.



## **2 Teoretická část**

### **2.1 Mechanické vlastnosti**

U plošných textilií jsou mechanické vlastnosti jejich odezvou na mechanické působení vnějších sil. Tyto vlastnosti mají význam nejen při zpracování textilních vláken, ale také pro spotřebitele, protože textilní materiály jsou v praxi často mechanicky namáhány různým způsobem, někdy jednorázově ale především opakovaně (např. při nošení, praní).

U textilií se nehodnotí pouze mechanické vlastnosti, ale také jejich únava při opakovaném mechanickém namáhání. Mechanické namáhání plošných textilií v hotových výrobcích, zejména oděvních, se odehrávají v oblasti malých deformací. V praxi dochází málokdy k takovému namáhání, které by znamenalo porušení plošné textilie.

Všechny vlastnosti závisí na chemické a především na fyzikální struktuře vlákna, teplotě, vlhkosti, způsobu a rychlosti namáhání. U plošných textilií také na vazbě, plošné hmotnosti, dostavě (u tkanin) a úpravách, kterými textilie prošla. [1] [4]

#### **Mechanické vlastnosti dělíme podle :**

- účinku vnějších sil na:
  - deformační – popisující průběh deformace materiálu, mohou být pružné, plastické, viskoelastické
  - destrukční – popisující mechanické porušení materiálu (např. odolnost v oděru)
- s ohledem na čas jde o:
  - statické
  - dynamické
- způsobu namáhání:
  - jednoosé ( tah, tlak)
  - víceosé (krut, ohyb)

### **2.1.1 Odolnost a stálosti plošných textilií**

Pro hodnocení textilií je důležité zjistit stálost a odolnost textilie. Stálosti a odolnosti textilií jsou definovány jako odezvy textilií na chemické a fyzikální namáhání, které mění jejich vlastnosti, vzhled a mohou způsobit i destrukci textilie. [4]

**Stálosti a odolnost textilie můžeme rozdělit na:**

1. Stálosti tvaru
  - a. sráživost po praní ( sráživost vyjadřuje úroveň změn rozměrů textilie po působení vody, tepla, popř. vlhkosti )
  - b. tuhost v ohybu
  - c. splývavost
  - d. mačkavost
2. Stálosti vybarvení
  - a. stálost vybarvení v praní a chemickém čištění
  - b. stálost vybarvení v potu
  - c. stálost vybarvení v otěru
3. Odolnost
  - a. odolnost proti oděru
  - b. odolnost proti vytržení nití
  - c. odolnost proti tvorbě žmolků

### **2.1.2 Časově závislé deformační procesy:**

Charakteristickým mechanickým projevem většiny vláken je časově závislá deformace.

Obecně se projevuje:

1. Pružná(elastická) deformace: vyskytuje se pouze v oblasti malých sil a deformací. Časově nezávislá a dokonale vratná. Modeluje se Hookeovskou pružinou charakterizovanou modulem pružnosti **E**. Pro pružnou deformaci pak platí, že  $\sigma = E\varepsilon$ .
2. Plastická deformace: časově závislá a dokonale nevratná.
3. Viskoelastická deformace (částečně vratná): je časově závislá. V průběhu doby zatížení narůstá, po odlehčení postupně, v závislosti na čase, mizí.  
[1] [5]

## **2.2 Tuhost v ohybu, splývavost a mačkavost textilie**

### **2.2.1 Tuhost v ohybu**

Tuhost v ohybu je fyzikální veličina, popisující odpor textilie proti deformacím (ohýbání) vnějším zatížením. Toto vnější zatížení je vyvozováno buď osamělou silou nebo spojitým zatížením vyvolaným plošnou měrnou hmotností. [4] [6] [12]

Z definice vyplývá potřeba znát tuhost ohybu textilie zejména v případech, kdy je textilie používána na vyztužení výrobku (např. prsní část předního dílu pánského saka) nebo naopak když má mít textilie tuhost co nejmenší a má být splývavá (např. šatovka, závěsová bytová textilie). [4]

Odpor textilie proti ohýbání tedy úzce souvisí se splývavostí a je určen konstrukcí textilie (tkanina, pletenina, hustota plošné textilie) a její úpravou (např. naškrobením, podlepením). [4] [6] [12]

### 2.2.2 Splývavost textilie

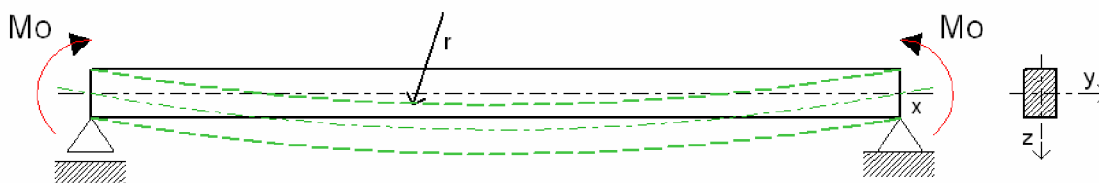
Souhrn vlastností plošné textilie, k nimž patří zejména měkkost, vláčnost, poddajnost a ohebnost. Vyjadřuje se poměrem rozdílů mezi plochou zkoušených vzorků a průměrnou plochou průmětů zkoušených vzorků k ploše mezikruží (plocha vzorku způsobí ke splývání). Její míra může být pro odlišné typy textilií a účel jejich použití různá. Je také definována jako schopnost vytvářet záhyby při zavěšení v prostoru. [4] [13]

### 2.2.3 Mačkovatost textilie

Mačkovatost je vyjádření stavu, kde buď systematicky nebo náhodně je plošná textilie zmačkána a zatížena v tomto stavu. Vnější síly způsobí na přehnutých plochách “zlom” a doba jejich působení vytvoří na plošné textilii prostorovou deformaci. A nejen vnější síly – současný vliv tělesné teploty a vlhkosti podporuje velikost vzniklých deformací – zejména plastických. [4]

## 2.3 Ohybový moment

Jestliže textilii zatížíme vnějším ohybovým momentem  $M_o$ , dojde k deformaci (prohnutí) textilie a současně ke vzniku vnitřních sil (napětí), kterými se textilie brání proti porušení. Je zřejmé, že ohybovým moment  $M_o$  je v tomto případě namáhán každý průřez vlákna v textilii. Horní vlákna textilie jsou stlačována a dolní vlákna prodlužována. Horní vlákna jsou tedy namáhána tlakem a dolní tahem.



Obr. 1: Namáhání ohybem

Obecně platí pro napětí:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1)$$

Napětí v ohybu vypočítáme, když ohybový moment působící v namáhaném průřezu vydělíme modulem průřezu v ohybu.

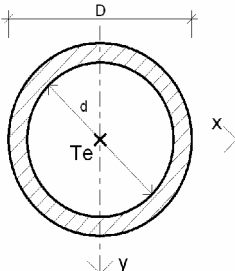
Dalším obecný výpočet pro napětí:

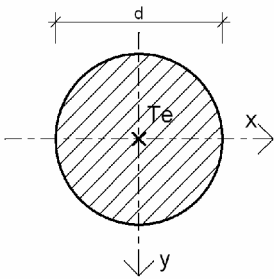
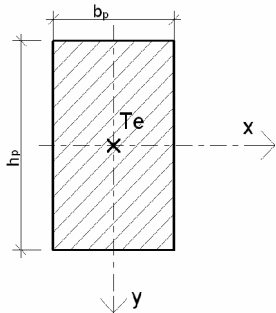
$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} \quad [MPa] \quad (2)$$

Kde:

- $D$  vnější průměr [m]
- $d$  vnitřní průměr [m]
- $b_p$  šířka průřezu [m]
- $E$  modul pružnosti materiálu v tahu [Pa]
- $h_p$  výška průřezu [m]
- $J$  kvadratický moment plochy [m<sup>4</sup>]
- $M_o$  ohybový moment [Nm]
- $r$  poloměr [m]
- $W_o$  modul průřezu v ohybu [m<sup>3</sup>]
- $\varepsilon$  relativní prodloužení [-]
- $\sigma$  napětí [Pa]  $J$  kvadratický moment plochy [m<sup>4</sup>]

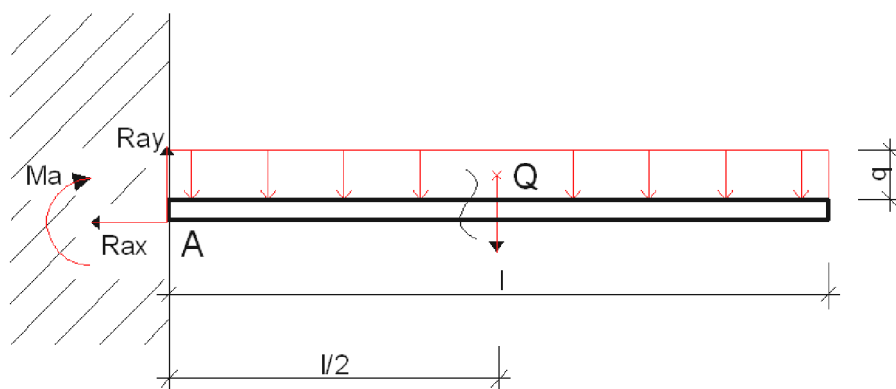
**Tabulka 1: Průřezové veličiny**

	$J \text{ [m}^4\text{]}$	$W_o \text{ [m}^3\text{]}$
	$\frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4)$	$\frac{\pi D^3}{32} \cdot \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)$

	$\frac{\pi D^4}{64}$	$\frac{\pi D^3}{32}$
	$J_x = \frac{b_p \cdot h_p^3}{12}$ $J_y = \frac{b_p^3 \cdot h_p}{12}$	$W_x = \frac{b_p \cdot h_p^2}{6}$ $W_y = \frac{b_p^2 \cdot h_p}{6}$

### 2.3.1 Vetknutý nosník zatížený vlastní tíhou:

Sommerova metoda vychází z ohybu vetknutého nosníku. Nosník nahradí proužek textilie obr. 2.



Obr. 2: Vetknutý nosník se spojitým zatížením

$$\uparrow : \quad R_{ay} - q \cdot l = 0$$

$$\rightarrow : \quad -R_{ax} = 0$$

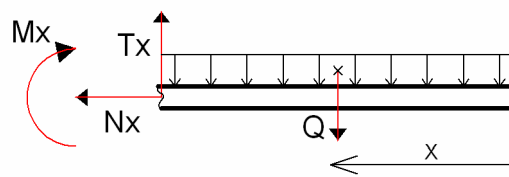
$$P: \quad M_a + q \frac{l^2}{2} = 0$$

I  $x \in \langle 0; l \rangle$

$$\uparrow : T_x - q \cdot x = 0$$

$$\rightarrow : -N_x = 0$$

$$P : M_x + q \frac{x^2}{2} = 0$$



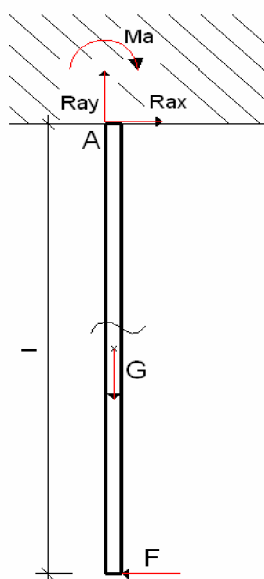
Obr. 3: Řez vetknutého nosníku se spojitým zatížením

Kde:

- $F$  síla [N]
- $G$  tíhová síla [N]
- $l$  délka vzorku [m]
- $M_x$  moment v místě řezu [Nm]
- $M_a$  moment v bodě A [Nm]
- $N_x$  normálová síla v místě řezu [N]
- $q$  spojitě zatížení způsobené vlastní hmotností vzorku [N/m]
- $R_{ay}$  reakce v bodě A v ose y [N]
- $R_{ax}$  reakce v bodě A v ose x [N]
- $T_x$  tečná síla v místě řezu [N]

### 2.3.2 Vetknutý nosník namáhaný silou:

Přístroj TH 5 pracuje na principu vetknutého nosníku namáhaný silou obr. 4.



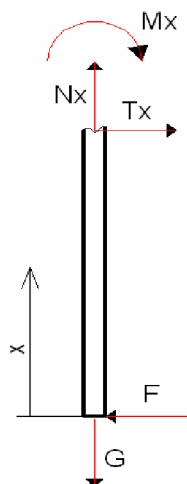
$$\uparrow : R_{ay} - G = 0$$

$$\rightarrow : R_{ax} - F = 0$$

$$P : M_a + F \cdot l = 0$$

Obr. 4: Vetknutý nosník namáhaný silou

I  $x < 0; l >$



$$\uparrow : N_x - G_x = 0$$

$$\rightarrow : T_x - F = 0$$

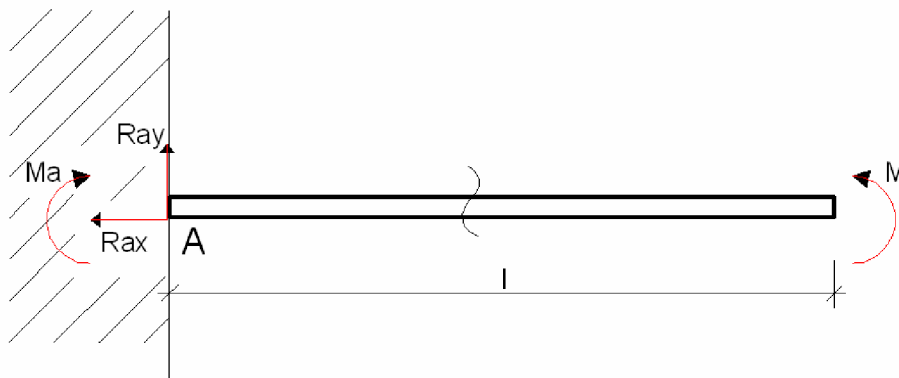
$$P : M_x + F \cdot x = 0 \Rightarrow M_x = -F \cdot x$$

Obr. 5: Řez vetknutého nosníku namáhaného silou

Charakteristika symbolů v kapitole 2.3.1

### 2.3.3 Vetknutý nosník namáhaný ohybovým momentem:

Na principu vetknutého nosníku zatíženého momentem pracuje přístroj KES-FB-2 (obr. 6).



Obr. 6: Vetknutý nosník namáhaný momentem

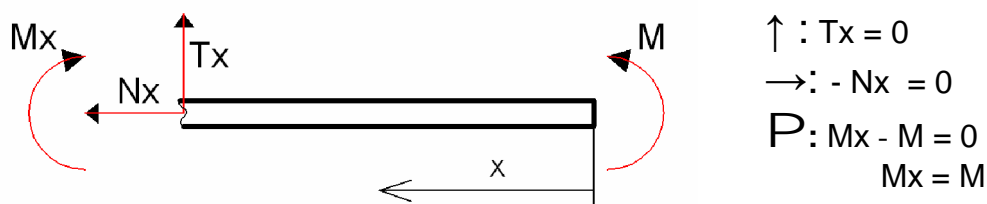
$$\uparrow : R_{ay} = 0$$

$$\rightarrow : -R_{ax} = 0$$

$$P : M_a - M = 0$$



I  $x < 0; l >$



Obr. 7: Řez vetknutého nosníku zatíženého momentem

Charakteristika symbolů v kapitole 2.3.1

## 2.4 Metody měření

### 2.4.1 Metody stanovení tuhosti v ohybu

- metody statické
- metody dynamické

Základní statické metody vychází z úvahy homogenního (stejnorodost fyzikálních vlastností látek) plošného tělesa (proužku textilie) a jeho tuhost v ohybu  $T$  je zjišťována z jeho tahové křivky, respektive jejího Youngova module pružnosti.

$$\text{Vychází ze vztahu: } T = E \cdot J \quad \left[ Nm^2 \right] \quad (3)$$

Kde:

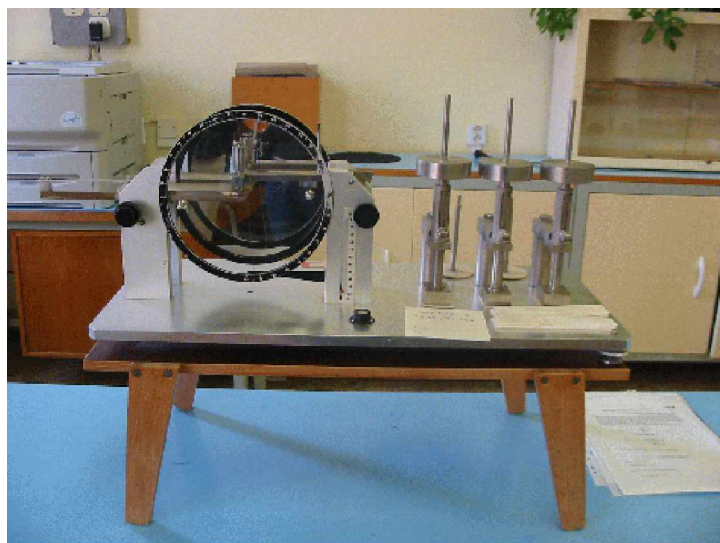
- $E$  modul pružnosti materiálu v tahu [Pa]
- $J$  kvadratický moment plochy [m<sup>4</sup>]

Youngův modul pružnosti zjistíme z trhací křivky a kvadratický moment plochy lze zjistit z tabulka 1.

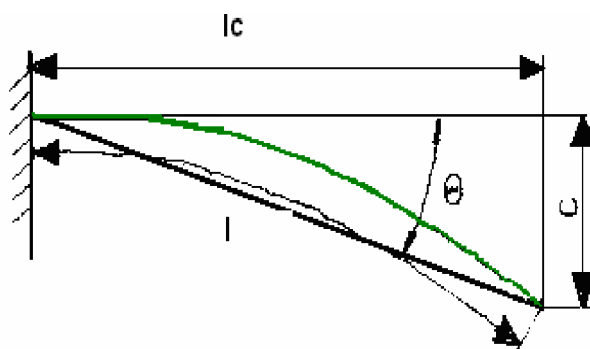
Výsledky této metody však nekorespondují s metodami ostatními, což je způsobeno nehomogenitou plošné textilie.

Dnes existuje několik metod, jež se souběžně používají.

#### 2.4.1.1 Sommerova metoda(zkoušení tuhosti plošných textilií v ohybu převísem)



Obr. 8: Přístroj Flexometr typu FF20



Obr. 9: Jednostranné zavěšení proužku textilie [4]

Sommerova metoda vychází z ohybu jednostranného nosníku (proužek textilie) o určité plošné hmotnosti  $\rho$  [ $\text{kgm}^{-2}$ ]. Proužek má délku  $l$  [m] a vlastní tíhou se ohýbá tak, že svírá s původním horizontálním směrem  $l_c$  [m] úhel  $\Theta$  [ $^\circ$ ], jak je znázorněno na obr. 9.

Z délky vzorku  $l$  a úhlu  $\Theta$  se vypočte ohybová délka  $c$ :

$$c = l \cdot \left( \frac{\cos 0,5\Theta}{8 \tan \Theta} \right)^{1/3} [m] \quad (4)$$

Tuhost v ohybu  $T$  je pak dána:

$$T = \rho \cdot c^3 [kg.m] \quad (5)$$

Modifikace metody podle Sommera spočívá v přepočtu plošné hmotnosti proužku textilie na jeho délkovou měrnou tíhu.

Délkovou měrnou tího  $\gamma \left[ Nm^{-1} \right]$  lze vypočítat:

$$\gamma = \frac{G}{l} = \rho_d \cdot g \quad \left[ Nm^{-1} \right] \quad (6)$$

$$\rho_d = \rho \cdot b \quad \left[ kg \cdot m^{-1} \right] \quad (7)$$

Tuhost  $T$  je dána vztahem:

$$T = \rho \cdot b \cdot g \cdot c^3 \quad \left[ Nm^2 \right] \quad (8)$$

Kde:

- $b$  šířka proužku textilie [m]
- $c$  ohybová délka [m]
- $G$  tíha proužku [N]
- $g$  gravitační zrychlení [ $m \cdot s^{-1}$ ]
- $l$  délka proužku textilie [m]
- $lc$  původní délka volné části vzorku [m]
- $T$  tuhost ohybu [ $Nm^2$ ]
- $\gamma$  délková měrná tíha proužku textilie [ $N \cdot m^{-1}$ ]
- $\Theta$  úhel, který svírá spojnice počátku a konce vetknuté textilie s horizontálním směrem [ $^\circ$ ]
- $\rho$  plošná hmotnost [ $kg \cdot m^{-2}$ ]
- $\rho_d$  délková měrná hmotnost [ $kg \cdot m^{-1}$ ]

### 2.4.1.2 Metoda Cantilever Test

Tato metoda vychází z teoretického stanovení úhlu pro hodnotu:

$$\left( \frac{\cos 0.5\Theta}{8 \cdot \operatorname{tg}\Theta} \right) = \frac{1}{2} \quad \text{z toho vychází úhel } \Theta = 41.5'$$

Metoda byla vyvinuta pro výztužné oděvní textilie. Měří se při ní délka proužku z textilie, která způsobí takový ohyb, aby se vzorek dotkl nakloněné roviny.



Obr. 10: Přístroj M003B SHIRLEY

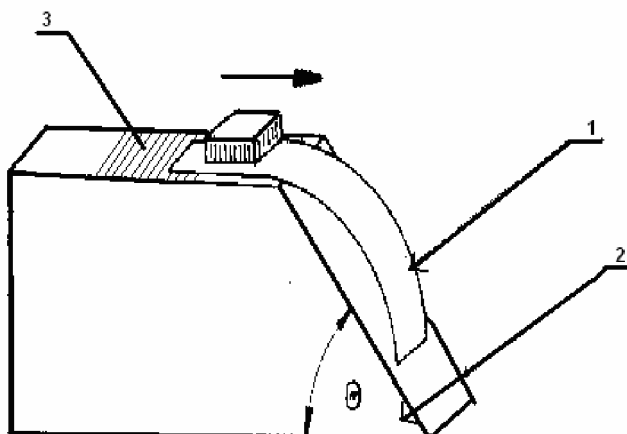
#### Podstata zkoušky:

Je definovaný pevný úhel  $\Theta = 41,5^\circ$ . Tento úhel je pevně nastaven na nakloněné rovině (viz. obr.11). Měření probíhá tak, že se proužek textilie **1** vysouvá na šikmou plochu **2**. Vysouváním probíhá do té doby, než se okraj proužku dotkne nakloněné roviny. Na stupnici **3** se odečte vysunutá délka proužku. Ta se pak dosadí do vztahu pro výpočet  $c$  a vypočte se tuhost v ohybu.

$$c = \frac{l}{2} \quad [m] \quad (9)$$

$$T = \rho \cdot (c)^3 \quad [kg \cdot m] \quad (10)$$

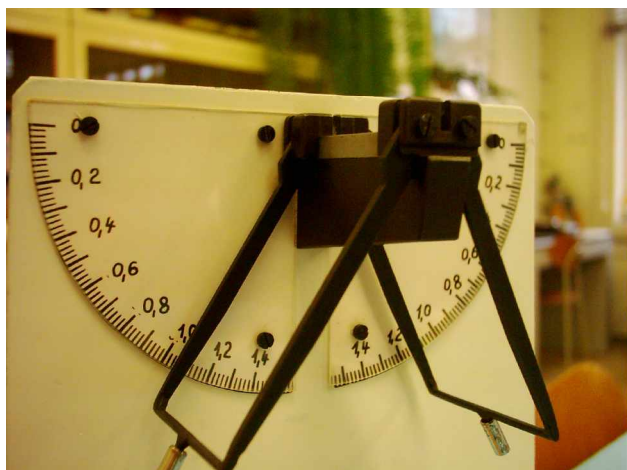
*Charakteristika symbolů v kapitole 2.4.1.1*



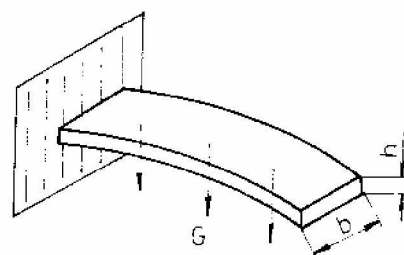
Obr. 11: Přístroj pro stanovení tuhosti v ohybu Cantilever test [4]

### 2.4.1.3 Gravimetrická metoda

Rovněž vychází z ohybu vetknutého nosníku zatíženého vlastní hmotností textilie  $G$  (obr.12) jako Sommerova metoda. Textilie je zatížena a poté je odečtena její délka převisu.



Obr. 12: Zařízení pro zkoušení plošných textilií gravimetrickou metodou



Obr. 13: Konzolové zavěšení proužku textilie [6]

Tuhost v ohybu  $T$  se pak vypočítá ze vztahu:

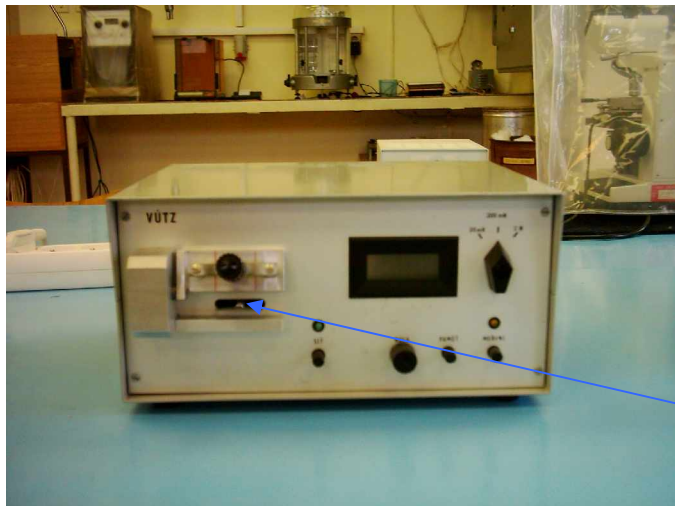
$$T = \rho \cdot b \cdot g \cdot c^3 \quad [Nm^2] \quad (11)$$

Kde:

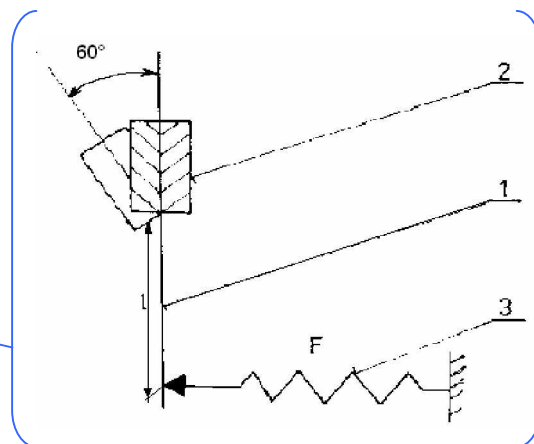
- $b$  šířka vzorku [m]
- $c$  ohybová délka [m]
- $g$  gravitační zrychlení [ $m \cdot s^{-1}$ ]  $g = 9,81 \text{ m} \cdot s^{-1}$
- $\rho$  plošná měrná hmotnost [ $kg \cdot m^{-2}$ ]

#### 2.4.1.4 Přístroj TH- 5

Metoda, která tuhost v ohybu stanoví z měření síly odporu textilie proti ohýbání. Tato metoda je československý patent a je definována normou ČSN 80 0858.



Obr. 14: Přístroj TH -5



Obr. 15: Měření tuhosti v ohybu plošné textilie na přístroji TH-5 [12]

- |   |                  |
|---|------------------|
| 1 | plošná textilie  |
| 2 | čelist           |
| 3 | pružina s čidlem |

#### Podstata:

Proužek textilie **1** je upnut do čelistí **2**, která se při měření natáčí. Proužek textilie vykazuje sílu na měřící prvek **3**. Přístroj pak registruje sílu potřebnou pro ohnutí proužku textilie.

Ohybový moment se poté vypočte ze vztahu:

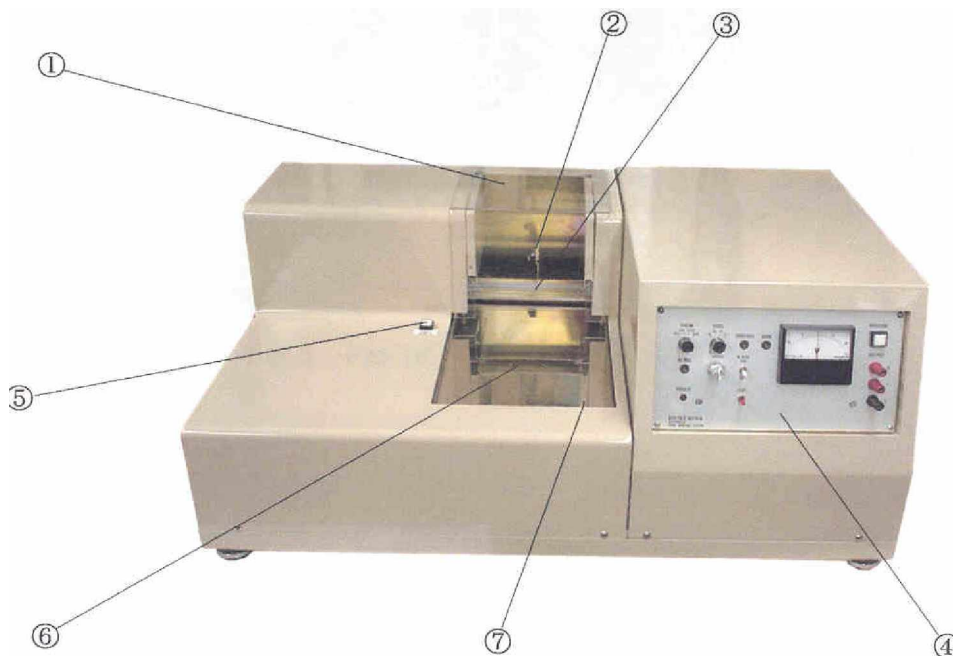
$$M_o = F \cdot l \quad [Nm] \quad (12)$$

Kde:

- $M_o$  ohybový moment [Nm]
- $F$  síla [N]
- $l$  vzdálenost bodu opření proužku textilie o měřící člen a upnutí textilie do čelistí [m]

#### **2.4.1.5 KES FB – 2 ( Kawabata Evoluation System for fabrice)**

Je to nový automatický přístroj pro měření ohybové vlastnosti (ohybovou tuhost, hysterezi v ohybovém momentu) u plošných textilií (tkaniny, pleteniny, netkané textilie, i netextilních materiálů).



**Obr. 16: Přístroj KES-FB – 2 [11]**

- |   |   |
|---|---|
| 1 | kryt  |
| 2 | snímač polohy vzorku  |
| 3 | měřicí čelisti  |
| 4 | ovládací panel  |
| 5 | světelná signalizace měření                                     |
| 6 | pomocná deska pro umístění vzorku                               |
| 7 | kontrolní světlo signalizující správnou polohu vloženého vzorku |



**Obr. 17: Detail pracovní části přístroje KES FB – 2 [11]**

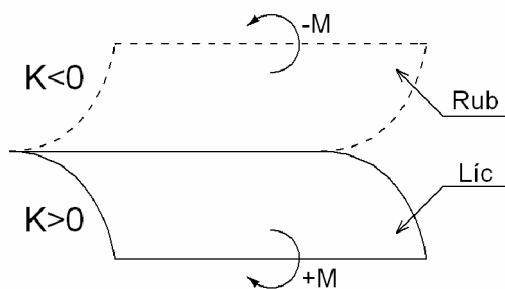
### **Podstata zkoušky :**

Umožňuje měřit ohybový moment vzorku pod definovaným zakřivením.

### **Postup zkoušky :**

- z každé zkušební plošné textilie se připraví 3 vzorky o rozměru 20x20 cm
- měření se provádí za nastavených standardních podmínek, nebo za nastavení vlastních; optimálních podmínek
- vzorek se vloží mezi čelisti, které jsou navzájem vzdáleny 10mm; první čelist je pevná, druhá čelist je pohyblivá
- zařízení je opatřeno optickými čidly, které nás upozorní na případné nesprávné vložení vzorku
- poté se přístroj uvede do chodu zapnutím spínače; vzorek je uchycen mezi čelisti a ohýbán do určitého zakřivení (max. zakřivení  $K \pm 2,5 \text{ cm}^{-1}$ ); ohybová rychlost je  $0,5 \text{ cm}^{-1}/\text{s}$ ; ohybové vlastnosti textilie jsou proměřovány vždy ve směru útku a osnovy po lící i rubové straně (viz. obr. 18).





Obr. 18: Ukázka ohybu textilie

Přesnost dat je velice vysoká a celé měření jednoho vzorku je rychlé. Data jsou přístrojem zapsána a uložena v PC.

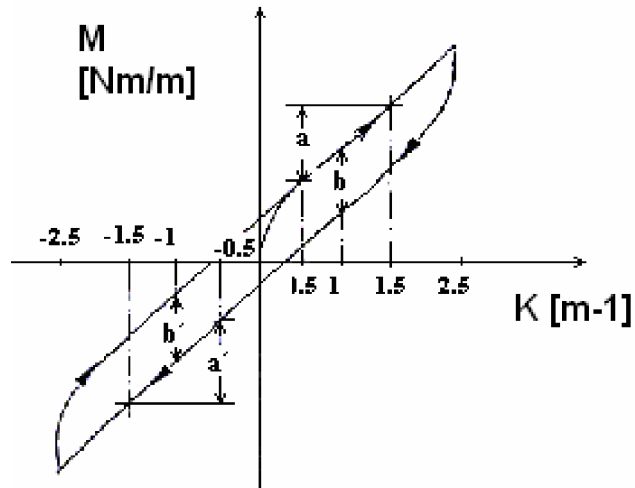
Naměřené hodnoty :  $B$  ohybová tuhost [ $\text{Nm}^2/\text{m}$ ]

$2HB$  hystereze v ohybovém momentu [ $\text{Nm}/\text{m}$ ]

Tyto hodnoty jsou definovány vztahy:

$$B = (a + a')/2 \quad (15)$$

$$2HB = (b + b')/2 \quad (16)$$



a..B

b..2HB

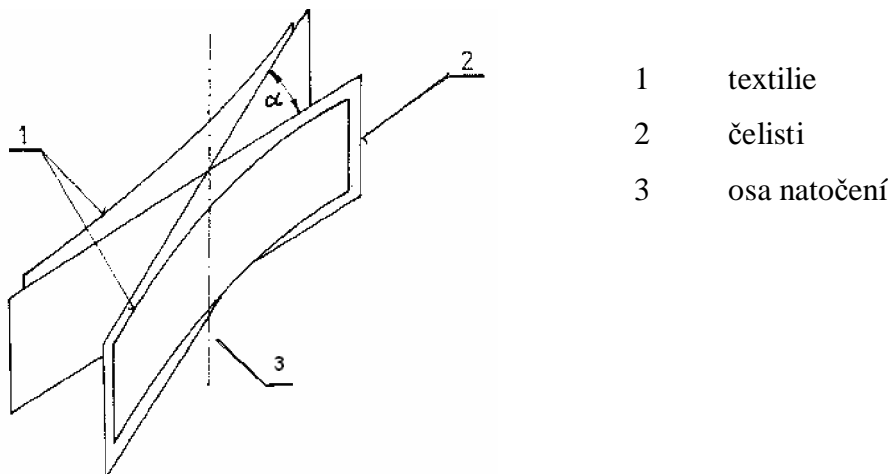
Obr. 19: Křivka namáhání v ohybu [3]

$K$ .. zakřivení ( $K = \pm 2,5 \text{ cm}^{-1}$ ) ( $K = 1/R$ )

$M$ .. moment ohybu [ $\text{Nm}/\text{m}$ ]

Pokud potřebujeme znát, jak se tuhost mění během namáhání, zvolíme některou z dynamických metod. Mezi nejznámější metody patří metoda podle Schiffera.

#### 2.4.1.6 Schieffera metoda



Obr. 20: Proužky textilie namáhány na ohyb současně [8]

#### Podstata zkoušky:

Dva proužky textilie jsou namáhány na ohyb současně a je snímána velikost průměrného ohybového momentu (obr. 20).

#### Postup zkoušky:

Oba vzorky 1 jsou upnuty v plochých čelistech 2, z nichž jedna je pevná, druhá otočná podle osy 3. Jejím natočením ve směru úhlu  $\alpha$  je snímán ohybový moment  $M_o$  jako funkce úhlu natočení. Práce potřebná k ohnutí obou vzorků do úhlu  $\alpha_1$

je dán vztahem:

$$L = \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} M_o \cdot d\alpha \quad [Nm] \quad (13)$$

Tuhost v ohybu bude:

$$T = M_o \cdot p \quad [Nm^2] \quad (14)$$

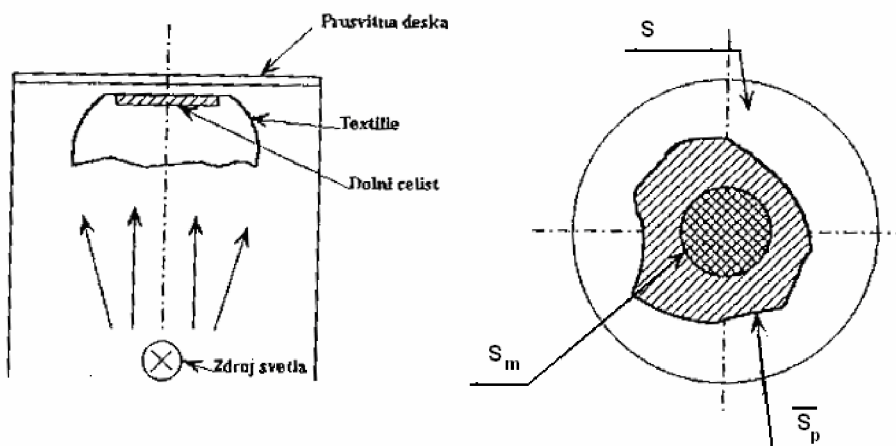
Kde:

- $L$  práce potřebná k ohnutí textilie [Nm]
- $M_o$  snímaný ohybový moment [Nm]
- $\alpha$  úhel natočení [°]
- $p$  poloměr křivosti [m]

## 2.4.2 Metody stanovení splývavosti

### 2.4.2.1 Metoda měření splývavosti průmětem

- tato metoda je určená normou 80 0835



Obr. 21: Tvar splývající plošné textilie a projekce jejího stínu [4]

#### Podstata zkoušky:

Kruhový vzorek plošné textilie o průměru 300 mm se umístí soustředně na kruhový stojánek o průměru 180 mm. Po přiložení průsvitné desky se obrys splývajícího vzorku promítne na papír a zakreslí se. Zakreslená plocha se zplanimetruje (určení plošného obsahu rovinných útvarů uzavřených jednoduchou křivostí) a vypočítá se splývavost v [%]. [13]

Splývavost  $x$  [%] se vypočítá podle vzorce:

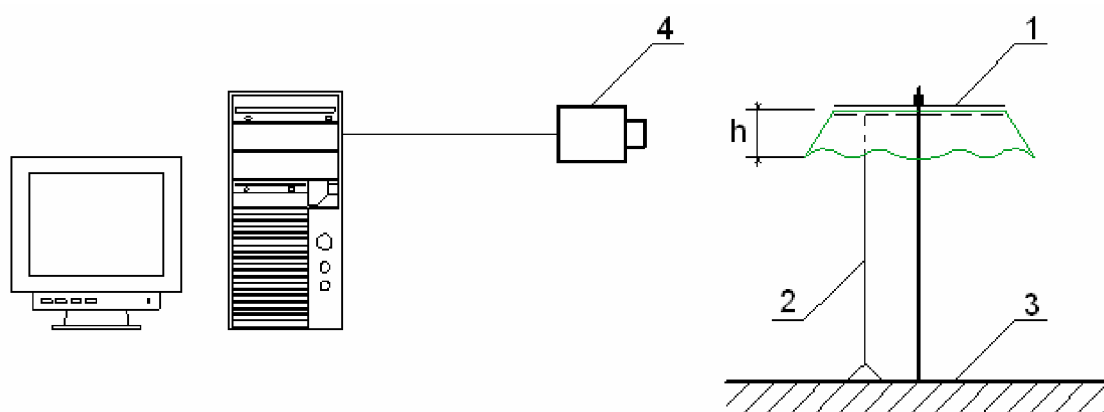
$$x = \frac{S - \overline{S_p}}{S_m} \cdot 100 \quad [\%] \quad (17)$$

Kde:

- $S$  plocha zkoušeného vzorku ( $70,69 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$ )
- $\overline{S_p}$  průměrná plocha průmětů zkoušených vzorků
- $S_m$  plocha mezikruží, tj. plocha vzorků způsobilá ke splývání ( $45,24 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$ )

#### 2.4.2.2 Metoda měření splývavosti pomocí počítačového zpracování obrázku

Dosud na číselné vyjádření míry splývavosti se používal koeficient splývavosti. Ten však nejenže ignoruje třetí rozměr splývajícího vzorku, ale dokonce neuvažuje ani tvar průřezu vzorku. Unikají tak informace, které mají podstatný vliv na celkový popis splývavosti textilie z hlediska 3D geometrie. Při zjišťování koeficientu splývavosti standardními metodami také dochází k chybám měření, způsobené lidským faktorem, které by se využitím počítače pro zpracování obrázku mohly minimalizovat. [5]



Obr. 22: Schéma uspořádání zařízení pro měření hloubky převisu pomocí počítačové obrazové analýzy

- 1 stojan rotující se vzorkem
- 2 bílé pozadí se značkou ve hloubce  $h_0 = 60$  mm od okraje čelisti
- 3 deska
- 4 kamera

#### Podstata zkoušky:

Hloubka převisu splývajícího vzorku  $h$  je zde chápána jako vertikální vzdálenost okraje splývajícího vzorku od okraje čelisti stojanu v němž je vzorek umístěn. Stojan je rotující a doplněn vertikálním bílým pozadím se značkou umístěnou ve známé hloubce  $h_0$  ( $h_0 > h$ ). Bílé pozadí je osvětlováno lampou tak, aby se zachovalo svoji “jednobarevnost“. Uspořádání zařízení je zobrazeno na obr. 22. [5]

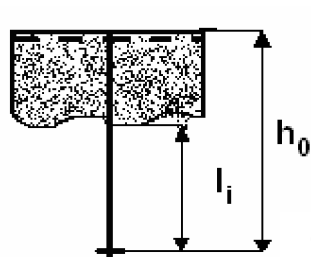
System počítačové obrázkové analýzy sestává z kamery a počítače se softwarem pro počítačové zpracování obrázku (LUCIA 32G/ CORONA verze 4.11).

### Postup zkoušky:

Vzorek se umístí do čelistí stojanu. Stojan se vzorkem se natáčí po  $5^\circ$ . Vzorek je pokaždé snímán kamerou a obraz je softwarem LUCIA digitalizován. Pro každý vzorek tak vznikne sekvence 72 snímků. [5]

Pak je počítačem zpracován obraz vzorku a změřena hloubka pozadí po značku. Program LUCIE umožňuje exportovat hodnoty do programu EXCEL. Kde se podle vzorce ( $h_i = h_0 - l_i$ ) vypočítá hloubka převisu  $h_i$  pro jednotlivá pootočení vzorku  $i$ .

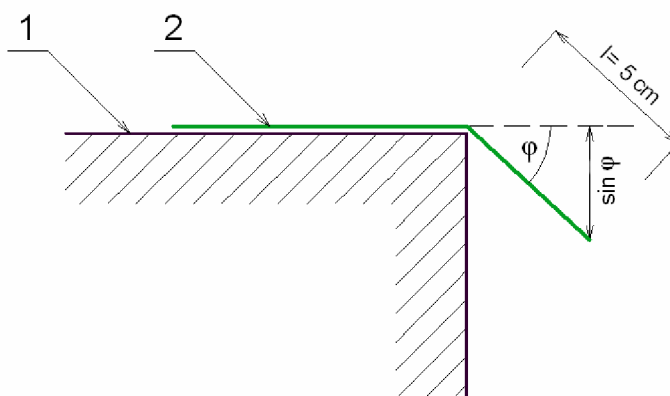
Poté se vytvoří grafická závislost ( $h_i = f(\varphi_i)$ ) hloubky převisu vzorku  $h_i$  na úhlu jeho pootočení  $\varphi_i$ . [5]



- $l_i$  délka od okraje vzorku k označení  $h_0$
- $h_0$  známá hloubka (vzdálenosti od stojanu)

Obr. 23: Schéma měření hloubky převisu splývajícího vzorku textilie

#### 2.4.2.3 Měření splývavosti ohybem přes ostrý roh



- 1 deska stolu
- 2 zkoušený vzorek

Obr. 24: Schéma metody měření splývavosti ohybem přes ostrý roh

### Podstata zkoušky:

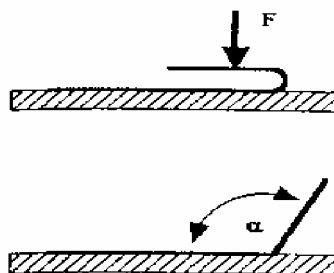
Vzorek o rozměrech 15 x 15 cm, je umístěn na horizontální plochu a posunut k ostré pravoúhlé hraně takovým způsobem, že osa pravého úhlu souhlasí se směrem osnovy nebo útku. Pohyb se zastaví, jakmile se střed vzorku octne nad špičkou hrany. Textilie se pak deformuje přes ostrý roh stolu a vytváří rovnou splývavou hranu, jejíž sklon  $\varphi$  proti horizontále je měřen (viz. obr. 24). Hodnota  $\sin \varphi$  pak charakterizuje stupeň splývavosti textile. [2]

### 2.4.3 Metody měření mačkavosti

Máme několik metod, které se řídí jednak podle toho o jakou textilii se jedná, jednak podle toho, zda jde o zjišťování mačkavosti původní textilie nebo po několika údržbářských procesech (praní, čištění).

#### 2.4.3.1 Jako nejběžnější metoda je měření úhlu zotavení:

Tato metoda je definována normou ČSN 80 0820 – ČSN EN 22313.

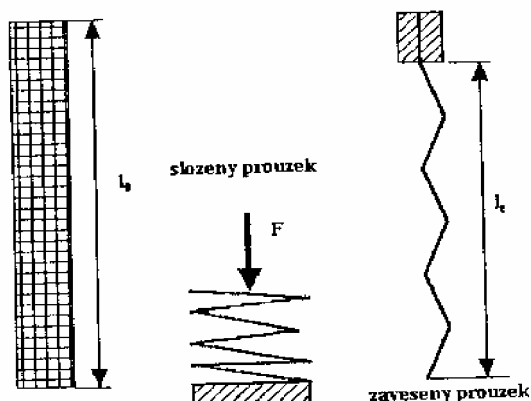


Obr. 25: Mačkavost na proužku textilie

### Podstata zkoušky:

Proužek textilie o rozměru 40mm × 15mm je ohnut a zatížen závažím o hmotnosti  $m$ , které vytvoří zatížení silou  $F$  (10N). Zatížení je ponechané po dobu  $t_z$  (5minut ± 5sekund). Po této době je proužek odlehčen. Tento okamžik se označí jako čas  $t_o$  (čas odlehčení). V čase  $t_o$  se proužek narovná o určitý úhel  $\alpha$ , který je obrazem okamžité elastické deformace. [4]

### 2.4.3.2 Metoda skládaného proužku textilie



Obr. 26: Metoda skládaného proužku

#### Podstata zkoušky:

Textilie je poskládána podle systému přehybů a zatížena závažím na definovanou dobu (hmotnost závaží, doba zatížení a doba zotavení se zvolí v souladu s normami technických požadavků na plošné textilie). Po předepsané době je odlehčena a zavěšen do svorek, aby mohlo probíhat zotavení, podporované gravitační silou. [4]

Odečítá se časová změna délky  $l_z$  a vyjadřuje se podobně jako metoda přehnutého proužku s tím rozdílem, že pro daný čas se vyjadřuje relativní hodnota zotavení  $Z$  :

$$z = \frac{l_z}{l_0} \cdot 10^2 \quad [\%] \quad (18)$$

Kde:

- $l_z$       délka po zotavení [m]
- $l_0$       původní délka [m]

### 3 Experimentální část

Experiment část je zaměřená na porovnání čtyř různých metod měřících tuhost ohybu plošných textilií. Jedná se o:

- Přístroj Flexometr FF20
- Přístroj TH 5
- Gravimetrická metoda
- Přístroj KES FB – 2

#### 3.1 Metodika měření ohybu

Experiment byl proveden na patnácti různých druzích tkanin. Všechny použité materiály měly stejnou vazbu – plátňovou, ale materiál byl zvolen tak, aby zastupoval odlišnou ohybovou tuhost. Tkanina, která reprezentovala nejvíce splývavý materiál, byla ze 100% viskózy, na opačném konci zástupce tkaniny nejméně splývavé byl 100% len, jako středně splývavé materiály byly použity bavlnářské nebo vlnářské typy tkanin.

Pro všechny čtyři metody byly vzorky nastříhány po osnově o různých rozměrech, které určily dané použité metody. Odběr vzorku se řídil normou ČSN EN 12751. Z každého typu materiálů bylo zkoušeno pět vzorků, z kapacitních důvodů měření provedené na přístroji KES-FB-2, bylo provedeno pouze na třech vzorcích od každého materiálů.

Parametry plošných textilií:

Ø byly shrnuty do tabulek (viz. Tabulka 2 až 6)

**Tabulka 2 : Parametry materiálů**

		<b>Materiál 1</b>	<b>Materiál 2</b>	<b>Materiál 3</b>
<b>Výrobní název</b>		<b>textilie nemá výrobní název</b>	<b>textilie nemá výrobní název</b>	<b>textilie nemá výrobní název</b>
<b>Použití</b>		<b>šatová textilie</b>	<b>šatová textilie</b>	<b>šatová textilie</b>
<b>Směr vlasu</b>		<b>bez vlasu</b>	<b>bez vlasu</b>	<b>bez vlasu</b>
<b>Materiálové složení</b>		<b>100% PES</b>	<b>100% bavlna</b>	<b>bavlnářská tkanina</b>
<b>Dostava [1/10cm]</b>	<b>osnova</b>	<b>230</b>	<b>400</b>	<b>290</b>
	<b>útek</b>	<b>230</b>	<b>290</b>	<b>210</b>
<b>Vazba</b>		<b>plátňová</b>	<b>plátňová</b>	<b>plátňová</b>
<b>Tloušťka textilie [mm]</b>		<b>0,58</b>	<b>0,24</b>	<b>0,32</b>
<b>Plošná hmotnost [kg/m<sup>2</sup>]</b>		<b>0,1900</b>	<b>0,0873</b>	<b>0,1257</b>



Tabulka 3 : Parametry materiálů

		<b>Materiál 4</b>	<b>Materiál 5</b>	<b>Materiál 6</b>
<b>Výrobní název</b>		textilie nemá výrobní název	flanel	textilie nemá výrobní název
<b>Použití</b>		šatová textilie	košilovina	šatová textilie
<b>Směr vlasu</b>		bez vlasu	s krátkým hustým vlasem	bez vlasu
<b>Materiálové složení</b>		100% len	bavlnářská tkanina	100% viskóza
<b>Dostava [1/10cm]</b>	<b>osnova</b>	190	200	420
	<b>útek</b>	170	170	250
<b>Vazba</b>		plátňová	plátňová	plátňová
<b>Tloušťka textilie [mm]</b>		0,38	0,85	0,23
<b>Plošná hmotnost [kg/m<sup>2</sup>]</b>		0,1670	0,1715	0,1137

Tabulka 4 : Parametry materiálů

		<b>Materiál 7</b>	<b>Materiál 8</b>	<b>Materiál 9</b>
<b>Výrobní název</b>		textilie nemá výrobní název	krepžoržet	textilie nemá výrobní název
<b>Použití</b>		šatová textilie	košilovina	šatová textilie
<b>Směr vlasu</b>		bez vlasu	bez vlasu	bez vlasu
<b>Materiálové složení</b>		100% bavlna	100% hedvábí	vlnářská tkanina
<b>Dostava [1/10cm]</b>	<b>osnova</b>	200	340	280
	<b>útek</b>	270	260	220
<b>Vazba</b>		plátňová	plátňová	plátňová
<b>Tloušťka textilie [mm]</b>		0,28	0,38	0,36
<b>Plošná hmotnost [kg/m<sup>2</sup>]</b>		0,1482	0,1002	0,1595

Tabulka 5 : Parametry materiálů

		<b>Materiál 10</b>	<b>Materiál 11</b>	<b>Materiál 12</b>
<b>Výrobní název</b>		textilie nemá výrobní název	textilie nemá výrobní název	textilie nemá výrobní název
<b>Použití</b>		šatová textilie	šatová textilie	šatová textilie
<b>Směr vlasu</b>		bez vlasu	bez vlasu	bez vlasu
<b>Materiálové složení</b>		Vlnářská tkanina	100% bavlna +lycra	62% PES, 33% viskóza, 5% lycra
<b>Dostava [1/10cm]</b>	<b>osnova</b>	230	260	420
	<b>útek</b>	220	200	320
<b>Tloušťka textilie [mm]</b>		0,51	0,31	0,42
<b>Plošná hmotnost [kg/m<sup>2</sup>]</b>		0,1909	0,1295	0,1879

Tabulka 6 : Parametry materiálů

		Materiál 13	Materiál 14	Materiál 15
Výrobní název		textilie nemá výrobní název	flanel	textilie nemá výrobní název
Použití		šatová textilie	košilovina	šatová textilie
Směr vlasu		bez vlasu	s krátkým hustým vlasem	bez vlasu
Materiálové složení		50% len, 50% bavlna	100% bavlna	vlnařská tkanina
Dostava [1/10cm]	osnova	250	200	210
	útek	150	170	190
Vazba		plátňová	plátňová	plátňová
Tloušťka textilie [mm]		0,42	0,79	0,43
Plošná hmotnost [kg/m <sup>2</sup> ]		0,1584	0,1861	0,1661

### 3.1.1 Měření Flexometrem FF20

Viz obrázek 8, 9

#### Podmínky měření:

Rozměr vzorku : 30 x 150 mm  
 Klimatické podmínky: teplota  $t = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 vlhkost  $\nu = 35\text{ }\%$

#### Podstata zkoušky:

je založena na principu vetknutého nosníku zatížený vlastní vahou. Zavěšená textilie vyjadřuje tuhost v ohybu jako deformační práci, jež byla způsobena gravitací.

#### Postup zkoušky:

5 vzorků střižené přesně po niti ze směru osnovy a 5 vzorků ze směru útku o rozměrech 30 x 150 mm se založí do přístroje Flexometru typ FF-20 k jedné hraně ploché čelisti přístroje. Vysouváním její horní desky se zároveň vysouvá zkušební vzorek. Pro danou délku převisu se měří úhel  $\Theta$  [°] převisu. Odečítání se provádí počínaje délkou převisu

$l = 30 \cdot 10^{-3}$  [m] s přírůstkem 10mm až do celkové délky převisu  $90 \cdot 10^{-3}$  [m]

**Tuhost v ohybu  $T_{\alpha ji}$  v měřeném směru :**

$$T_{\alpha ji} = \gamma \cdot c_{\alpha ji}^3 = b \cdot g \cdot \rho \cdot c_{\alpha ji}^3 \quad [Nm^2]$$

Kde :

- $\gamma$  délková měrná tíha [ $Nm^{-1}$ ]
- $b$  šířka vzorku [m]
- $g$  gravitační zrychlení [ $m \cdot s^{-1}$ ]  $g = 9,81 \text{ m} \cdot s^{-1}$
- $\rho$  plošná měrná hmotnost [ $kg \cdot m^{-2}$ ]
- $l$  délka převisu [m]
- $\Theta$  úhel, který svírá spojnice počátku a konce vetknuté textilie a horizontálním směrem [ $^\circ$ ].

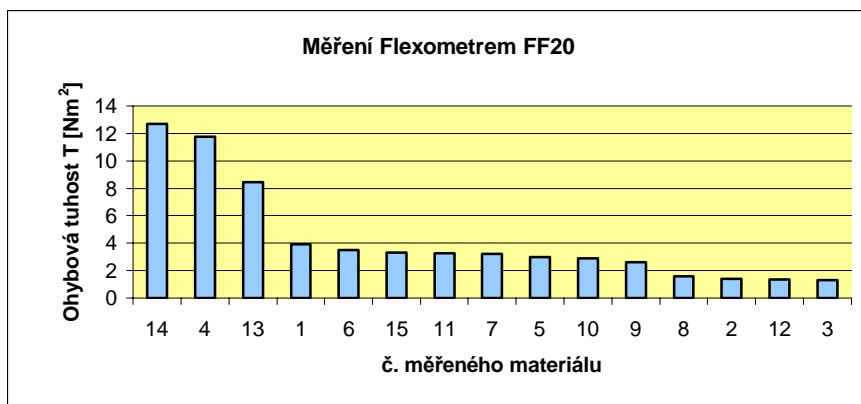
Délka ohybu  $c_{\alpha ji}^3$  v měřeném směru :

$$c_{\alpha ji}^3 = l_j^3 \cdot K_{\alpha ji} \quad [m^3]$$

Stanovení konstanty (je možné odečíst z tabulky 3 v příloze P 18):

$$K_{\alpha ji} = \frac{\cos 0,5\Theta_{ji}}{8tg\Theta_{ji}} \quad [-]$$

Výsledná měření jsou v příloze P 16 – P 17



**Graf 1: Grafické vyjádření tuhosti v ohybu – Flexometr FF20**

### **Osobní zhodnocení metody:**

Při vkládání vzorku má obsluha možnost okraj vzorku ztotožnit s okrajem desky, ale při další manipulaci je nebezpečí posunu. Celková manipulace je velice obtížná a časově náročná. Kromě toho tento přístroj nevyhovuje při měření především pletenin a tkanin, kde se objevuje větší úhel než  $90^\circ$  a ani s textiliemi které mají vysokou tuhost v ohybu. Celkové měření závisí na subjektivním pohledu zkoušejícího (ten samý vzorek může být pokaždé změřen jinak).

### **3.1.2 Měření na přístroji TH – 5**

Viz. obrázek 14, 15

#### **Podmínky měření:**

Rozměr vzorku :	25 x 50 mm
Klimatické podmínky:	teplota $t = 23^\circ\text{C}$ vlhkost $\varphi = 35\%$

#### **Podstata zkoušky :**

Při sledování tuhosti se vzorek upevněný v čelisti zkušebního přístroje dotýká volným koncem čidla přístroje. Vzorek je namáhán na ohyb otáčením čelisti do výchylky  $60^\circ$  od svislé osy silou, potřebnou pro tuto deformaci zkoušeného vzorku.

Z každého zkušebního vzorku se připravuje 20 pracovních vzorků, z toho 10 vzorků po lici a 10 vzorků po rubu o rozměrech 2,5 cm x 5 cm, vždy 5 delší stranou ve směru délky (osnovy) a 5 delší stranou ve směru šířky (útku).

#### **Postup zkoušky:**

klimatizovaný vzorek se vloží do čelisti zkušebního přístroje pomocí pinzety tak, aby se horní okraj vzorku kryl s horním okrajem čelisti. Vzorek je obrácen k čidlu hranou, která se má měřit. Vkládáním vzorku do čelisti nesmí dojít k deformaci.

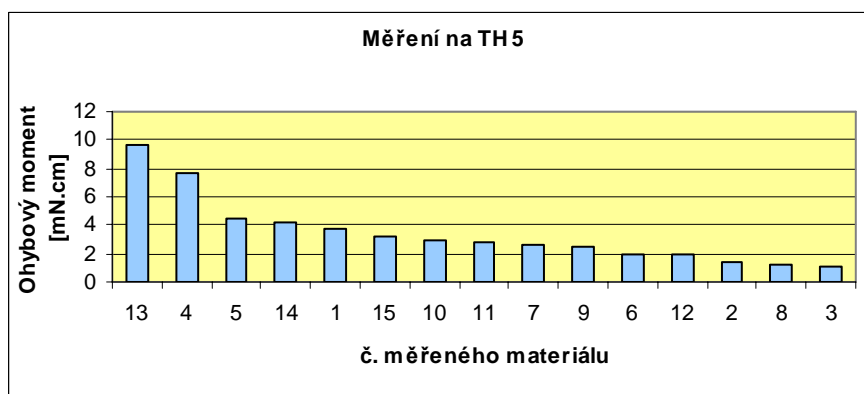
přístroj se uvede do činnosti spínačem a sleduje se naměřená hodnota na přístroji do doby samočinného zastavení přístroje. Po zjištění naměřené hodnoty se vypnutím spínače vrátí do výchozí polohy.

$$M_0 = F \cdot K \quad [mN \cdot cm]$$

Kde:

- $M_0$  je ohybový moment v mN cm pro šířku vzorku 1 cm,
- $K$  konstanta vypočtená ze vztahu  $K = \frac{l}{b}$
- $l$  délka měřeného vzorku při výchylce  $60^\circ$  od hrany čelisti k čidlu zkušebního přístroje  $l = 1,51$  cm
- $b$  pracovní šířka 2,5cm  $K = 0,604$  cm
- $F$  hodnota naměřené síly [N]

Výsledná měření jsou v příloze P 19 – P 21



Graf 2 : Grafické vyjádření tuhosti v ohybu – TH – 5

### Osobní zhodnocení metody:

Tato metoda oproti Sommerově metodě má tu výhodu, že obsluha při vkládání vzorku má možnost ztotožnit horní okraj čelisti s okrajem vzorku, a tak zajistit pokaždé stejnou polohu vzorku. Stejně jako u Sommerovy metody si získané data zkoušející zpracovává sám. Přibližná doba zkoušení jednoho vzorku (po líci nebo po rubu) je cca 40 sekund. Přesto je tato metoda při velkém množství vzorků časově náročná.

### 3.1.3 Měření gravimetrickou metodou

Viz. obrázek 12, 13

#### Podmínky měření:

Rozměr vzorku :	20 x 70 mm
Klimatické podmínky:	teplota $t = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$
	vlhkost $\nu = 35\text{ }\%$

#### Podstata zkoušky:

spočívá ve stanovení odolnosti plošné textilie vůči ohýbání.

#### Postup zkoušky:

u zvoleného vzorku textilie se proměří anizotropie (závislost vlastností materiálu na směru ve kterém je měřen) tuhosti v ohybu ve směru  $\alpha = 0, \pi/8, \pi/4, 3\pi/8, \pi/2$

Směr osnovy znamená úhel  $\alpha = 0$  [rad] a směr útku  $\alpha = \pi/2$  [rad].

Pro naše zjišťování a porovnání tuhosti v ohybu se zaměříme pouze na proměření ve směru útku a osnovy.

Sady vzorků se připraví 5 po osnově a 5 po útku o rozměru 2 x 7cm. Vzorek se položí na měřicí plošku - střed vzorku na střed plošky, zatížený předepsaným závažím a na odečítacím zařízení se pomocí ramének (na vyčnívající vzorek plošné textilie působí pouze vlastní tíha a gravitace) – odečte úhel převisu, jak zleva, tak zprava. Stejný vzorek se také proměří z rubové strany.

Tuhost v ohybu v měřeném směru :

$$T_{\alpha ji} = \gamma \cdot c_{\alpha ji}^3 = b \cdot g \cdot \rho \cdot c_{\alpha ji}^3 \quad [Nm^2]$$

Kde:

- $\gamma$  délková měrná tíha  $[Nm^{-1}]$
- $b$  šířka vzorku  $[m]$
- $g$  gravitační zrychlení  $[m.s^{-1}]$   $g = 9,81\text{ }m.s^{-1}$
- $\rho$  plošná měrná hmotnost  $[kg.m^{-2}]$

- $l$  délka převisu [m]
- $\Theta$  úhel, který svírá spojnice počátku a konce vetknuté textilie a horizontálním směrem [°]

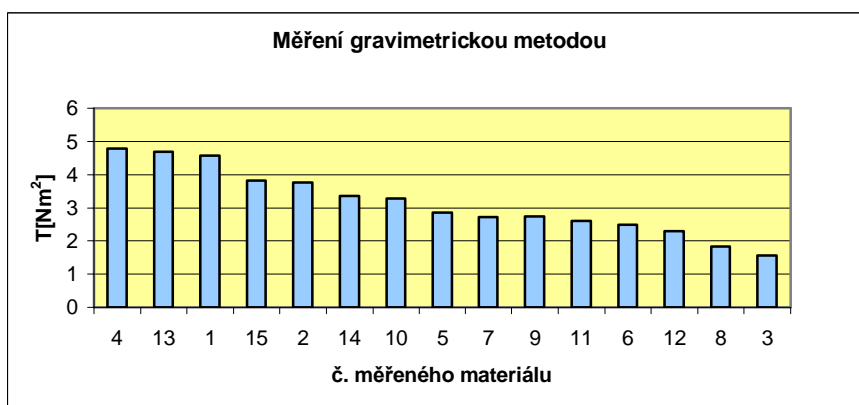
Ohybová délka v měřeném směru:

$$c_{\alpha ji}^3 = l_j^3 \cdot K_{\alpha ji} \quad [m^3]$$

Stanovení konstanty (je možné odečíst z tabulky 9 v příloze P 24):

$$K_{\alpha ji} = \frac{\cos 0,5\Theta_{ji}}{8tg\Theta_{ji}}$$

Výsledná měření jsou v příloze P 22 - 23



**Graf 3: Grafické vyjádření tuhosti v ohybu – Gravimetrická metoda**

### Osobní zhodnocení metody:

Tato metoda není tak časově náročná jako Flexometr FF20, ale použitím závaží k ustálení vzorku se rozměrově malý vzorek částečně deformuje. Tak jako u větších délek na přístroji Flexometr FF20 se i zde vzorek tvaroval do “zkrouceného oblouk“, nebo “esíčkového tvaru“. Hodnota pak nemusí odpovídat skutečnosti. Tato metoda je závislá na přesném zvolení středu vzorku v kratším směru a správném odečtení úhlu převisu.

### **3.1.4 Měření na přístroji KES FB – 2**

Viz. obrázek 16, 17

#### **Podmínky měření:**

Rozměr vzorku :	200 x 200 mm
Klimatické podmínky:	teplota $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
	vlhkost $\nu = 45\text{ }\%$

#### **Podstata zkoušky:**

je založena na principu vetknutého nosníku zatíženého ohybovým momentem do určitého úhlu.

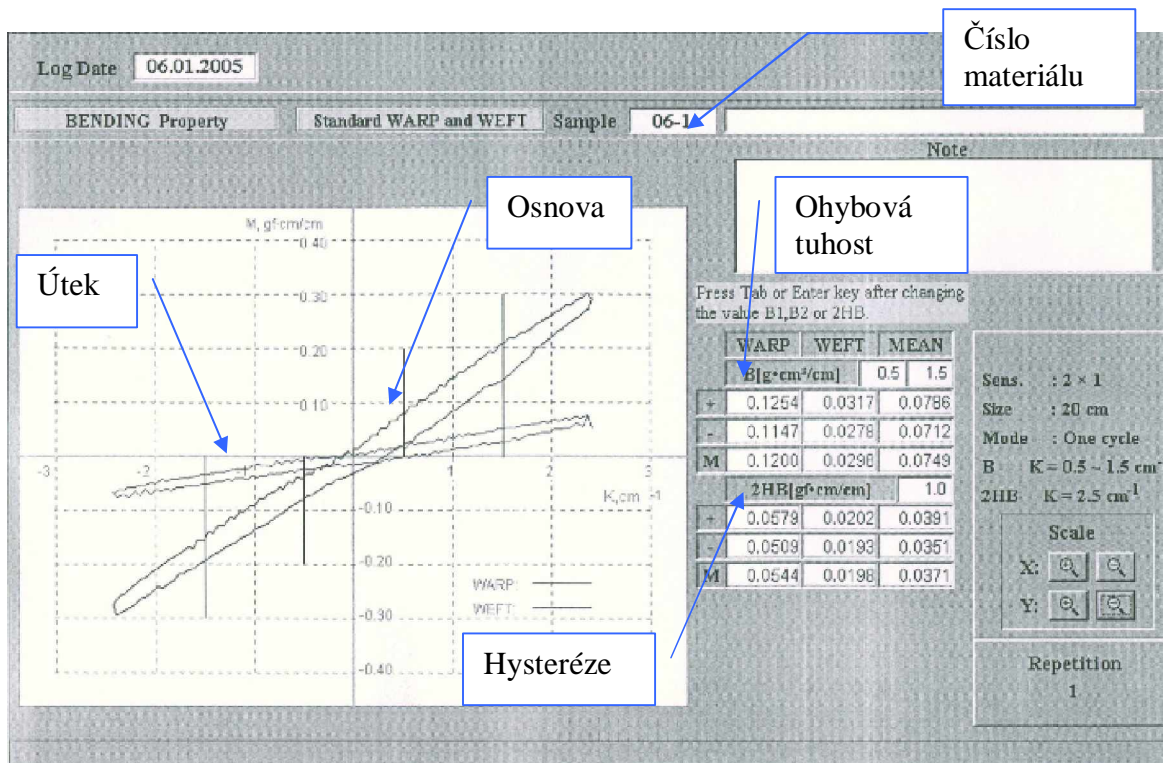
#### **Postup zkoušky :**

- z každé zkoušené plošné textilie se připraví 3 vzorky o rozměru 20x20 cm
- měření se provádí za nastavených standardních podmínek:
  - senzitivita - 20
  - rychlost –  $0,5\text{cm}^{-1}/1\text{s}$
  - B – je definováno sklonem  $K \pm 0,5$  a 1,5
  - 2HB – hodnota hysterezní šířky v rozsahu  $K \pm 0,5$  a 1,5
- vzorek se vloží mezi čelisti. Délka měřeného oblouku ohýbaného vzorku činí 1 cm. Tento pohyb konce vzorku zabezpečuje klikový mechanismus;
- zařízení je opatřeno optickými čidly, které nás upozorní na případné nesprávné vložení vzorku
- poté se přístroj uvede do chodu zapnutím spínače; vzorek je uchycen mezi čelisti a ohýbán do určitého zakřivení (max. zakřivení  $K \pm 2,5\text{ cm}^{-1}$ ); ohybová rychlost je  $0,5\text{cm}^{-1}/1\text{s}$ ; ohybové vlastnosti textilie jsou proměřovány vždy ve směru útku a osnovy po lícni i rubové straně.

Získaná data jsou však přístrojem zapsána, zpracována a uložena v PC.

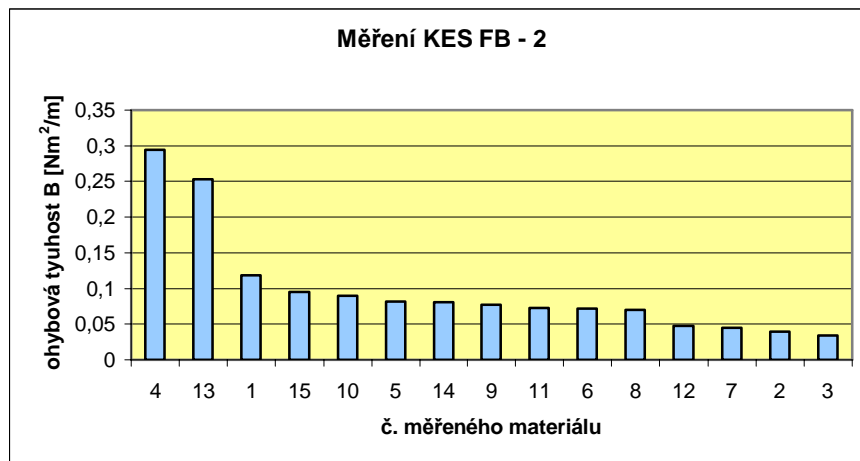
*Ukázky vyhodnocení ohybové tuhosti pro každý materiál z přístroje KES -FB -2 jsou v příloze P 1 – P 15*





Obr. 27 : ohybová tuhost zpracována na přístroji - KES FB -2

Výsledná měření jsou v příloze P 25 - 26



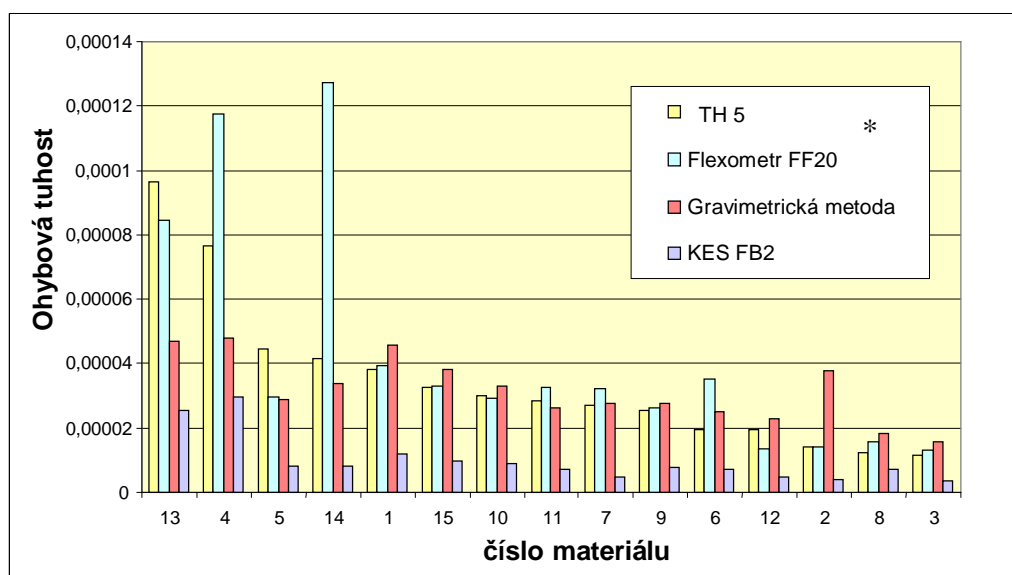
Graf 4 : Grafické vyjádření tuhosti v ohybu – KES FB - 2

#### Osobní zhodnocení metody:

Měření na přístroji KES-FB-2 byla provedena kvalifikovaným pracovníkem. Z těchto důvodů osobní zhodnocení metody chybí.

### 3.2 Vyhodnocení měření

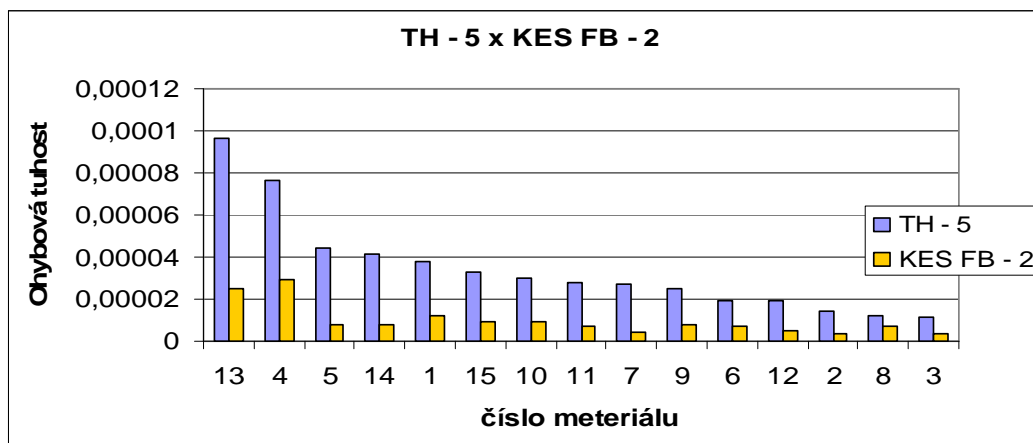
Vyhodnocená naměřená ohybová tuhost je zpracována do grafu 5, kde nás zajímal výsledný trend ohybové tuhosti u různých metod měření, a proto byly použity pouze absolutní hodnoty (jednotky byly zanedbány a hodnoty byly řádově přizpůsobeny pro lepší přehlednost).



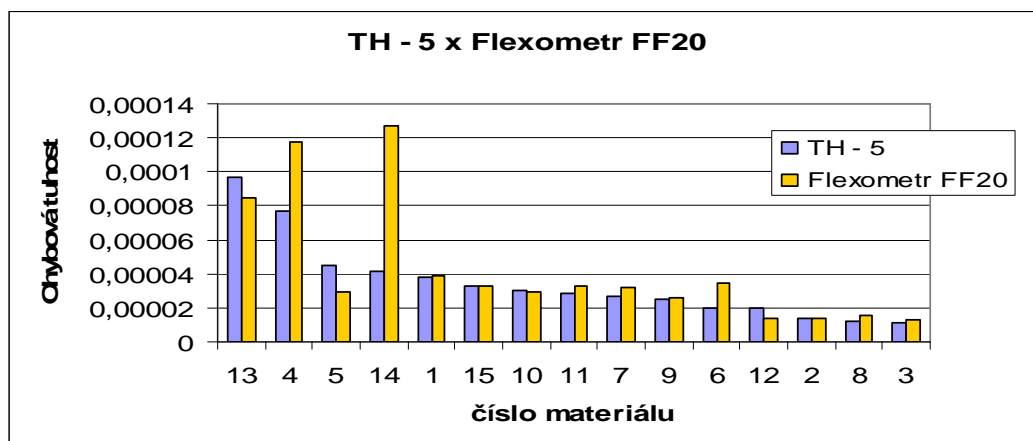
**Graf 5: Porovnání ohybových tuhostí podle přístroje TH – 5**

\* Jednotky u daných přístrojů :  
 TH – 5 [mN .cm] .  $10^{-5}$   
 Flexometr FF20 [Nm<sup>2</sup>] .  $10^{-5}$   
 Gravimetrická metoda [Nm<sup>2</sup>] .  $10^{-5}$   
 KES – FB -2 [Nm<sup>2</sup>/m] .  $10^{-4}$

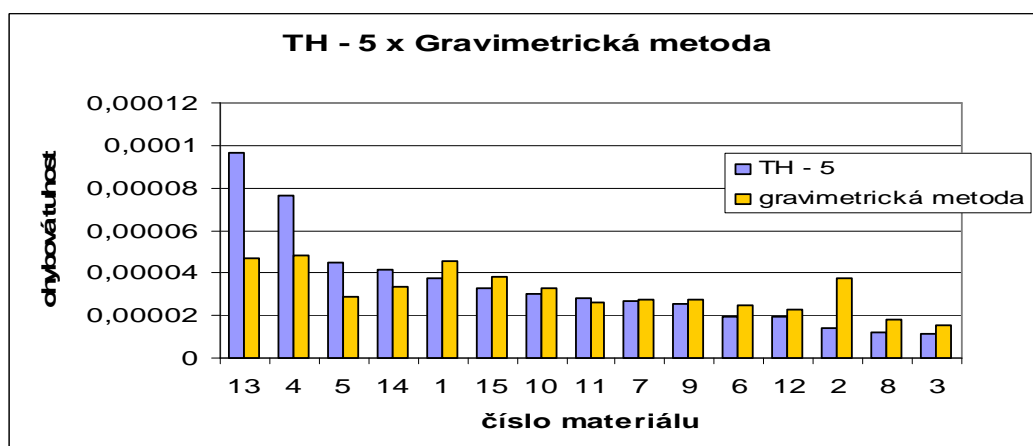
V grafech 6-8 byla výsledná ohybová tuhost porovnána zvlášť pro přístroj TH-5 s ostatními metodami.



**Graf 6: Porovnání ohybových tuhostí mezi přístrojem TH - 5 a KES FB - 2**



Graf 7: Porovnání ohybových tuhostí mezi přístrojem TH - 5 a Flexometr FF20



Graf 8: Porovnání ohybových tuhostí mezi TH - 5 a gravimetrickou metodou

Rozsah škály u ohybové tuhosti se pohyboval různě podle použitých metod. Mezi plošné textilie s nejvyšší ohybovou tuhostí patří materiály s číslem **13**, **4**, na opačné straně s nejmenší ohybovou tuhostí se shodně umístil materiál s číslem **3** a materiály s číslem **12** a **8**.

Pro lepší přehlednost jsou hodnoty seřazeny do tabulky 7, kde jsou opět plošné textilie seřazeny od materiálů s největší ohybovou tuhostí po textilie s nejmenší tuhostí.

Tabulka 7: Naměřená ohybová tuhost

Použitý přístroj	číslo materiálu														
TH - 5	<b>13</b>	<b>4</b>	5	14	1	15	10	11	7	9	6	<b>12</b>	2	<b>8</b>	<b>3</b>
Flexometr FF20	14	<b>4</b>	<b>13</b>	1	6	15	11	7	5	10	9	<b>8</b>	2	<b>12</b>	<b>3</b>
KES FB - 2	<b>4</b>	<b>13</b>	1	15	10	5	14	9	11	6	<b>8</b>	<b>12</b>	7	2	<b>3</b>
Gravimetrická metoda	<b>4</b>	<b>13</b>	1	15	2	14	10	5	7	9	11	6	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>3</b>

### 3.3 Korelace a regrese

#### Korelace

Nejjednodušším případem korelace je lineární korelace, kdy se snažíme zjistit, zda mezi dvěma spojitými proměnnými existuje lineární vztah a míru tohoto stavu, tedy zjistit jak dalece vystihuje přímka vztah dvou proměnných. Použitou statistikou je tzv. korelační koeficient odrážející odchýlení vztahu dvou proměnných od přímkového vztahu. V případě korelace jsou obě proměnné zcela rovnocenné a můžeme je ve výpočtu libovolně zaměňovat. [14]

Výpočet korelačního koeficientu  $r_k$  probíhá podle vzorce:

$$r_k = \frac{(\overline{XY} - \overline{X} \cdot \overline{Y})}{(S_X \cdot S_Y)} \quad [-]$$

Kde:

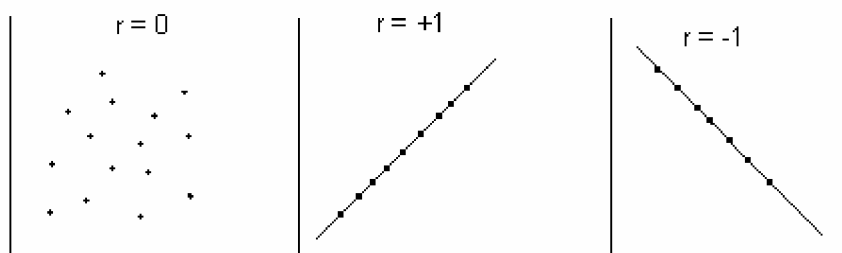
- $\overline{X}$  průměrná hodnota z naměřených hodnot na ose x
- $\overline{Y}$  průměrná hodnota z naměřených hodnot na ose y
- $S_X$  směrodatná odchylka z hodnot x
- $S_Y$  směrodatná odchylka z hodnot y

Pro korelační koeficient platí:

$$\bullet \quad -1 \leq r_k \leq 1$$

Jak platí pro X a Y vztah lineární závislosti  $y = a + b \cdot x$ , potom můžeme psát:

- 1)  $r_k = 0$ , potom X a Y jsou lineárně nezávislé ( $b = 0$ )
- 2)  $r_k < 0$ , potom X a Y jsou lineárně závislé ( $b > 0$ , přímá lineární závislost)
- 3)  $r_k > 0$ , potom X a Y jsou lineárně závislé ( $b < 0$ , nepřímá lineární závislost)



Obr. 28: Typy závislosti při korelaci

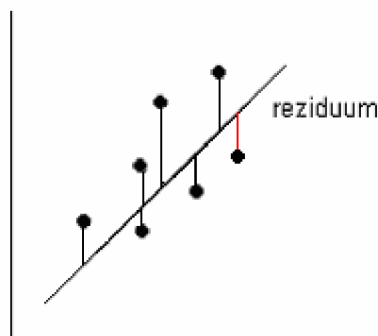
V případě korelace sice nestanovujeme přímo rovnici přímky závislosti (to je výsadou regrese), ale můžeme si přímku představit jako vyjádření lineárního vztahu a z odchylek bodů XY grafu od ní odhadnout míru vztahu. [14]

### Lineární regrese

Pomocí jednoduché lineární regrese popisujeme vztah dvou kvantitativních proměnných X a Y definováním přímky, která nejlépe vystihuje průběh jejich závislosti (v XY grafu si ji lze představit jako přímku, která je nejbližší všem bodům. [14]

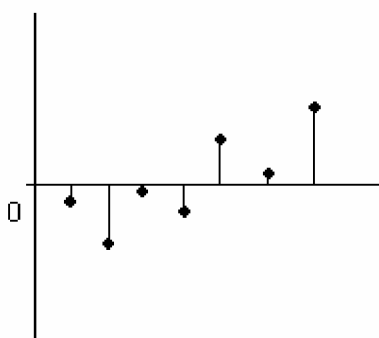
### Rezidua

Každá odchylka, neboli rozdíl mezi pozorovanou hodnotou Y a vyjádřenou hodnotou se nazývá **reziduum** (viz. obr. 29)



Obr. 29: Ukázka rezidua

Vztah X a Y je lineární, pokud při vynesení hodnot reziduí proti hodnotám nezávisle proměnné (X) jsou rezidua náhodně rozmístěna okolo 0 a není zde žádný trend poklesu nebo vzestup reziduí se změnou X (viz. obr. 30). [14]



Obr. 30: Linearita vztahu

### 3.3.1 Korelace a regrese mezi použitými metodami

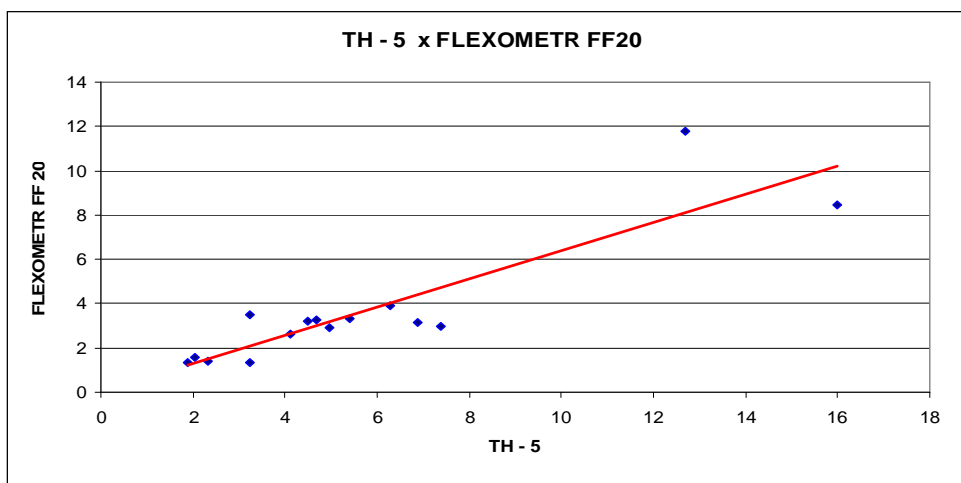
#### 3.3.1.1 TH – 5 / FLEXOMETR FF20

Tabulka 8: Výsledná ohybová tuhost materiálů

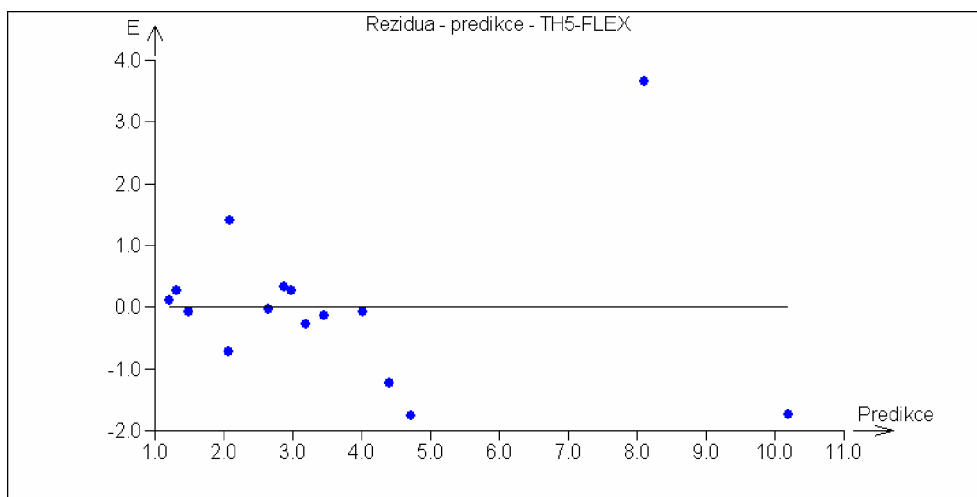
číslo materiálu	Ohybová tuhost	
	TH - 5	FELXOMETR FF20
	osa x	osa y
1	6,27	3,93
2	2,31	1,41
3	1,88	1,33
4	12,70	11,76 *
5	7,38	2,97
6	3,25	3,50
7	4,48	3,21
8	2,04	1,58
9	4,13	2,61
10	4,98	2,91
11	4,67	3,25
12	3,22	1,35
13	15,98	8,45 *
14	6,88	3,18
15	5,39	3,31

\* červeně jsou označeny odlehlé body

Korelační koeficient  $r_k = 0,886989476$



Graf 9: Korelace mezi přístrojem TH - 5 a FLEXOMETREM FF20



**Graf 10: Rezidua mezi TH - 5 a FLEXOMETREM FF20**

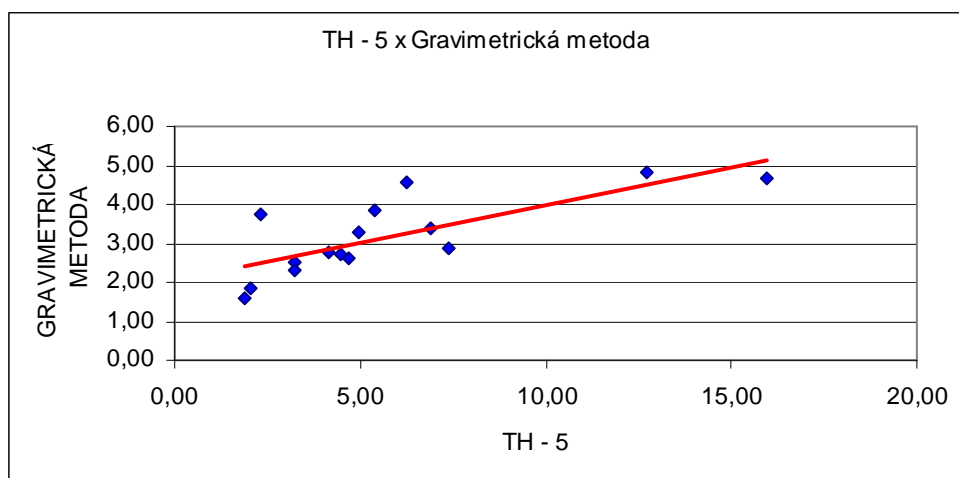
### 3.3.1.2 TH – 5 / GRAVIMETRICKÁ METODA

**Tabulka 9: Výsledná ohybová tuhost materiálů**

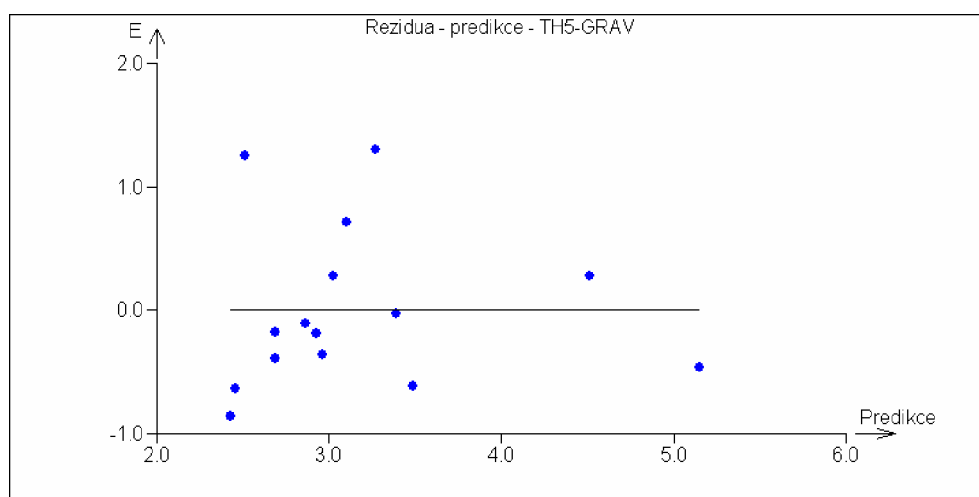
Číslo materiálu	Ohybová tuhost	
	TH - 5	GRAVIMETRICKÁ METODA
	osa x	osa y
1	6,27	4,58
2	2,31	3,76
3	1,88	1,57
4	12,70	4,80 *
5	7,38	2,87
6	3,25	2,51
7	4,48	2,74
8	2,04	1,83
9	4,13	2,75
10	4,98	3,30
11	4,67	2,61
12	3,22	2,29
13	15,98	4,68 *
14	6,88	3,36
15	5,39	3,82

\* červeně jsou označeny odlehlé body

Korelační koeficient  $r_k = 0,7563617937$



**Graf 11: Korelace mezi přístrojem TH - 5 a gravimetrickou metodou**



**Graf 12: Rezidua mezi TH - 5 a gravimetrickou metodou**

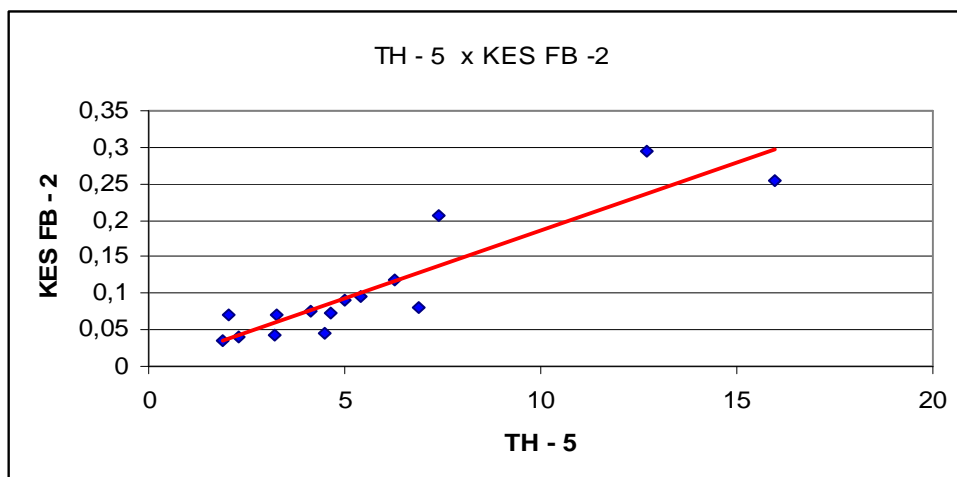


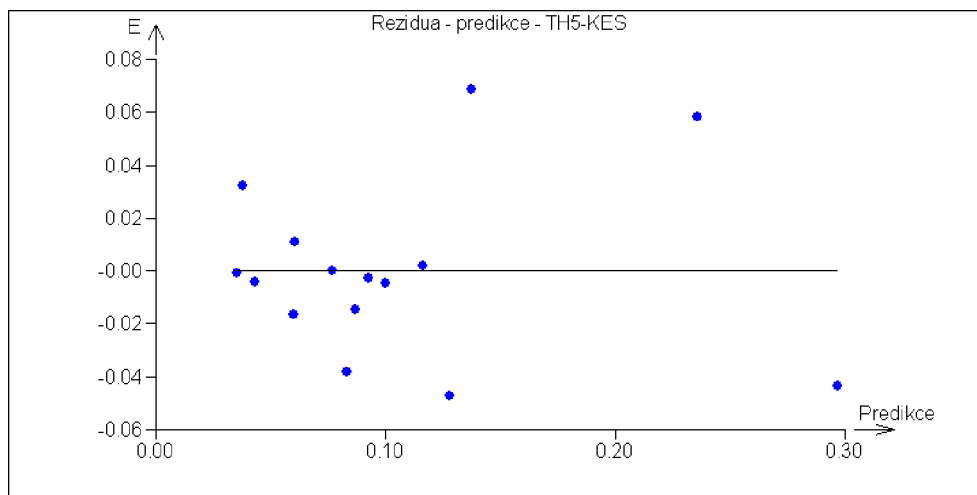
**3.3.1.3 TH – 5 / KES FB-2****Tabulka 10: Výsledná ohybová tuhost materiálů**

číslo materiálu	Ohybová tuhost	
	TH - 5	KES FB -2
	osa x	osa y
1	6,27	0,12
2	2,31	0,04
3	1,88	0,03
4	12,70	0,29 *
5	7,38	0,21
6	3,25	0,07
7	4,48	0,05
8	2,04	0,07
9	4,13	0,08
10	4,98	0,09
11	4,67	0,07
12	3,22	0,04
13	15,98	0,25 *
14	6,88	0,08
15	5,39	0,10

\* červeně jsou označeny odlehlé body

Korelační koeficient  $r_k = 0,9104258565$

**Graf 13: Korelace mezi přístrojem TH - a KES FB -2**



Graf 14: Rezidua mezi TH - 5 a KES FB - 2

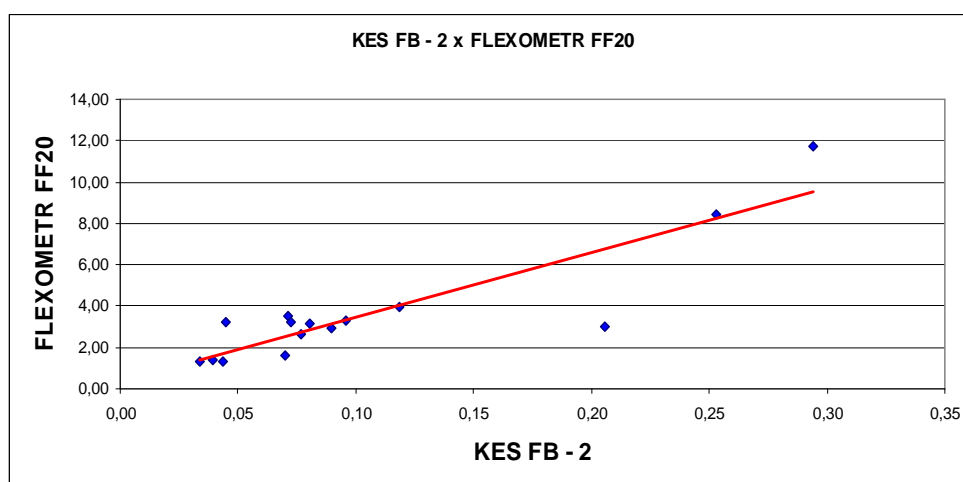
### 3.3.1.4 KES FB -2 / FLEXOMETR FF20

Tabulka 11: Výsledná ohybová tuhost materiálů

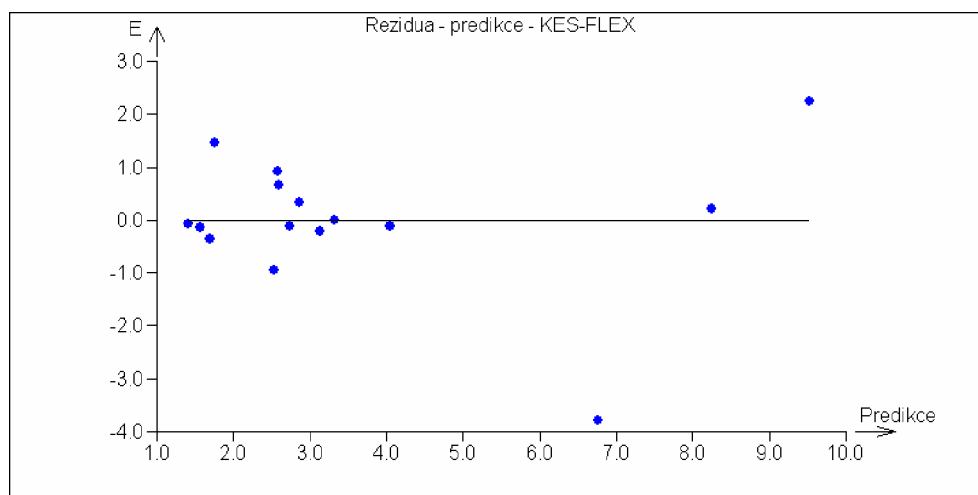
Číslo materiálu	Ohybová tuhost	
	KES FB - 2	FLEXOMETR FF20
	osa x	osa y
1	0,12	3,93
2	0,04	1,41
3	0,03	1,33
4	0,29	11,76 *
5	0,21	2,97 *
6	0,07	3,50
7	0,05	3,21
8	0,07	1,58
9	0,08	2,61
10	0,09	2,91
11	0,07	3,25
12	0,04	1,35
13	0,25	8,45
14	0,08	3,18
15	0,10	3,31

\* červeně jsou označeny odlehlé body

Korelační koeficient  $r_k = 0,8853447547$



**Graf 15: Korelace mezi přístrojem KES FB - 2 a FLEXOMETREM FF20**



**Graf 16: Rezidua mezi KES FB -2 a FLEXOMETR FF20**

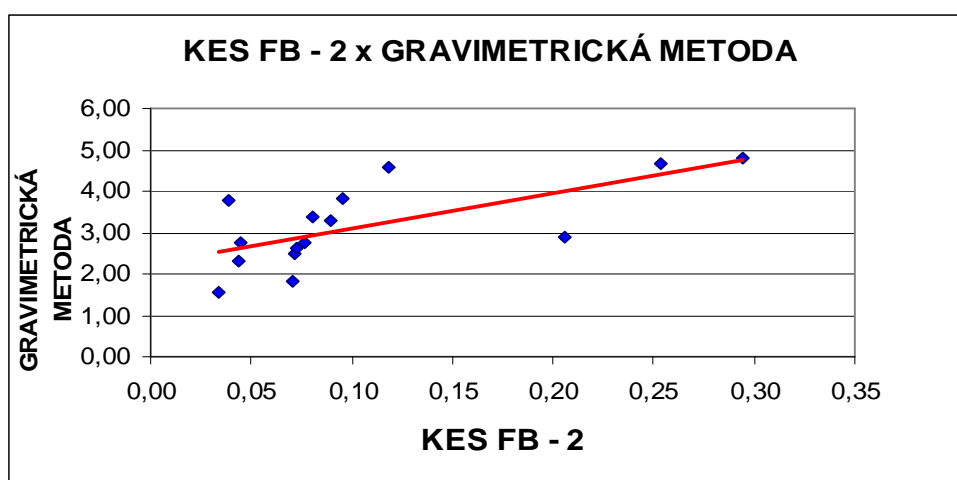
**3.3.1.5 KES FB – 2 / GRAVIMETRICKÁ METODA**

Tabulka 12: Výsledná ohybová tuhost materiálů

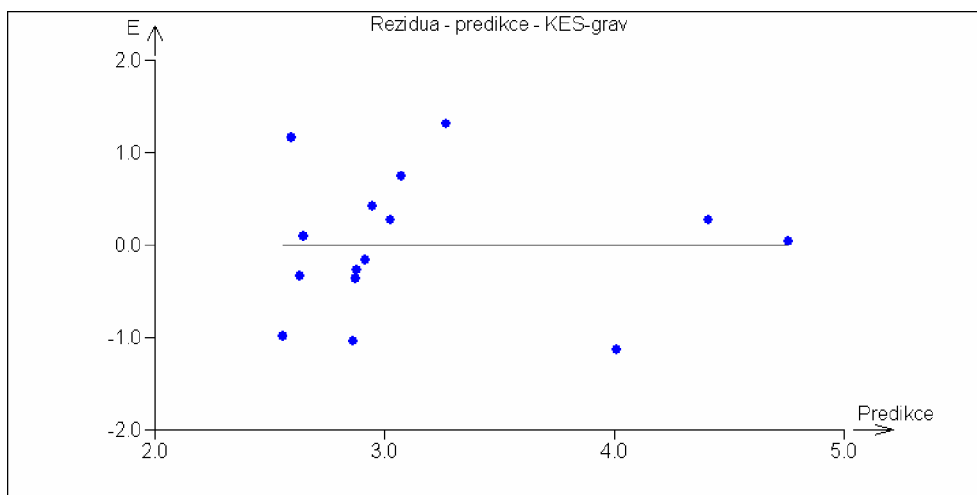
Číslo materiálu	Ohybová tuhost	
	KES FB - 2	GRAVIMETRICKÁ METODA
	osa x	osa y
1	0,12	4,58
2	0,04	3,76
3	0,03	1,57
4	0,29	4,80 *
5	0,21	2,87 *
6	0,07	2,51
7	0,05	2,74
8	0,07	1,83
9	0,08	2,75
10	0,09	3,30
11	0,07	2,61
12	0,04	2,29
13	0,25	4,68 *
14	0,08	3,36
15	0,10	3,82

\* červeně jsou označeny odlehlé body

Korelační koeficient  $r_k = 0,6763832584$



Graf 17: Korelace mezi přístrojem KES FB - 2 a gravimetrickou metodou



Graf 18: Rezidua mezi KES FB - 2 a gravimetrickou metodou

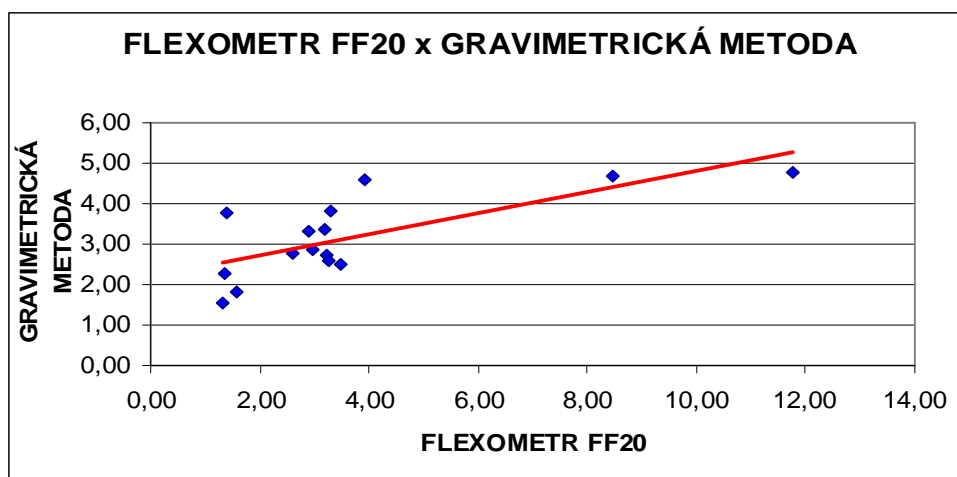
### 3.3.1.6 GRAVIMETRICKÁ METODA / FLEXOMETR FF20

Tabulka 13: Výsledná ohybová tuhost materiálů

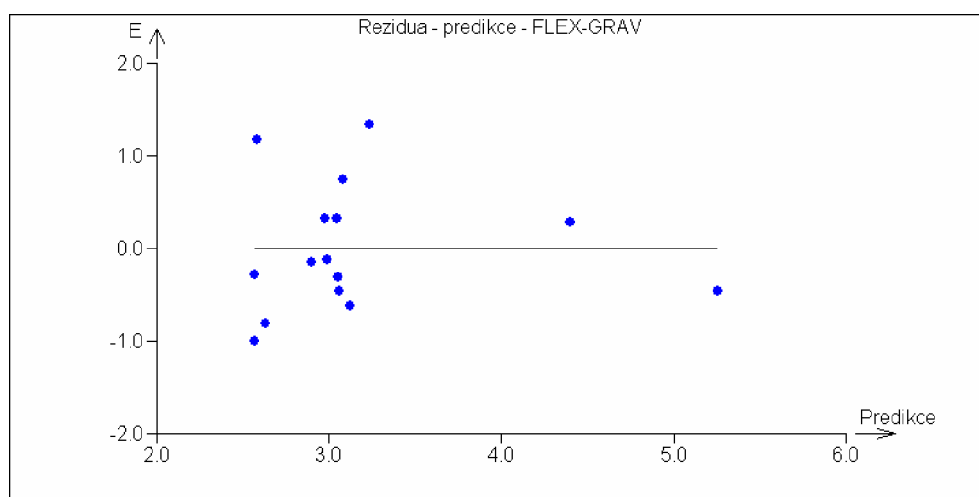
Číslo materiálu	Ohybová tuhost	
	FLEXOMETR FF20	GRAVIMETRICKÁ METODA
	osa x	osa y
1	3,93	4,58
2	1,41	3,76
3	1,33	1,57
4	11,76	4,80 *
5	2,97	2,87
6	3,50	2,51
7	3,21	2,74
8	1,58	1,83
9	2,61	2,75
10	2,91	3,30
11	3,25	2,61
12	1,35	2,29
13	8,45	4,68 *
14	3,18	3,36
15	3,31	3,82

\* červeně jsou označeny odlehlé body

Korelační koeficient  $r_k = 0,7254628397$



Graf 19: Korelace mezi přístrojem FLEXOMETR FF20 a gravimetrickou metodou



Graf 20: Rezidua mezi FLEXOMETREM FF20 a gravimetrickou metodou

### 3.3.2 Porovnání výsledků

**Tabulka 14: Souhrn korelačních koeficientů**

	<b>korelační koeficient</b>
<b>TH - 5 / KES FB - 2</b>	<b>0,91</b>
<b>TH - 5 / FLEXOMETR FF20</b>	<b>0,89</b>
<b>KES FB - 2 / FLEXOMETR FF20</b>	<b>0,88</b>
<b>TH - 5 / GRAVIMETRICKÁ METODA</b>	<b>0,76</b>
<b>FLEXOMETR FF20 / GRAVIMETRICKÁ METODA</b>	<b>0,73</b>
<b>KES FB - 2 / GRAVIMETRICKÁ METODA</b>	<b>0,68</b>

V této části bylo zjišťována korelace hodnot ohybové tuhosti mezi různými použitými metodami. Podle výsledných koeficientů bylo patrné, že s měřením ohybové tuhosti provedené na normovaném přístroji TH-5 nejvíce koreluje přístroj KES - FB- 2. Výsledný koeficient dosahoval hodnot až 0,91.

V případě korelace mezi přístrojem TH-5 s gravimetrickou metodou byl korelační koeficient nejmenší 0,76. Z tabulky 14 je také patrné, že korelace mezi gravimetrickou metodou a ostatními metodami nevykazuje hodnotově vysoké korelační koeficienty. I přesto jsou výsledné koeficienty průkazné.

Grafy 30 až 41 poukazují, že pouze porovnání TH-5 s Flexometrem FF20 a KES–FB–2 s Flexometrem FF20 je heteroskedastické (rozdílný rozptyl v přední a zadní části). Způsobují to hodnoty materiálů s číslem 4, 13 a 5. Jsou to převážně materiály s vysokou ohybovou tuhostí. Ukazují, že závislost nemusí být lineární, ale po odstranění těchto bodů se závislost nijak nezměnila.

## 4 Závěr

Ohybová tuhost patří mezi základní mechanické vlastnosti textilních materiálů, neboť bezprostředně velkou měrou ovlivňuje splývavost i mačkovost textilie.

Dnes již existuje celá řada metod používaných pro měření ohybové tuhosti textilií. Velké množství těchto prací vychází ze základních vztahů teorie pružnosti a pevnosti pro strojní a stavební materiály.

Mezi nejvýznamnější metody zjišťování ohybové tuhosti plošných textilií lze zařadit KES-FB-2 test, přístroj TH-5 a zkoušky převisu.

V experimentální části byla provedena měření ohybové tuhosti na čtyřech různých přístrojích: KES-FB-2, TH-5, Flexometr FF20 a přístroji pro gravimetrickou metodu. U takto získaných výsledků měření pak byla provedena statistická analýza.

Z provedené analýzy vyplývá, že s normovanou metodou TH-5 nejvíce koreluje přístroj KES-FB-2 (korelační koeficient činil až 0,91), což potvrzuje její použitelnost. Ani porovnání měření z přístroje TH-5 s ostatními metodami, nebyl korelační koeficient nízký - nejmenší korelační koeficient dosahoval 0,76 (TH-5 / gravimetrická metoda). Nízký korelační koeficient se také objevoval především při porovnání výsledků z přístroje Flexometr FF20 s ostatními metodami. Z grafů 30 až 41 je patrné, že vzniklé tzv. odlehlé body tvoří materiály s vysokou ohybovou tuhostí. Avšak tyto body na výslednou závislost nemají velký vliv. Jen u porovnání měření metody TH-5 / Flexometrem FF20 a KES-FB-2 / Flexometrem FF20 je patrné, že s narůstající ohybovou tuhostí narůstá rozptyl hodnot. Což poukazuje na nepřesnost přístroje při měření materiálů s větší ohybovou tuhostí.

Zkoušený vzorek měřený na přístroji Flexometru FF20 začal nabývat tvar "zkrouceného oblouku". Určená ohybová tuhost pak nemusela odpovídat skutečnosti. Tento problém se většinou týkal větších délek převisu. Naopak u menších délek převisu nelze vyloučit vliv elektrostatického náboje, který vzniká mezi textilií a krycí destičkou ze syntetického materiálu. Zkoušený materiál je destičkou přidržován a při posunu dochází ke tření.



Zvolení větší standardizované šířky zkoušeného vzorku, by mohlo zamezit “zkroucení do oblouku“ zkoušené textilie a tvorba elektrického náboje by se mohla eliminovat použitím odlišného materiálu krycí destičky.

Závěrem bych chtěla poukázat na přístroj s označením TH-7, který eliminuje nedostatky přístroje TH-5 (přístroj je schopen zkoušenou textilií vychýlit ve svislé rovině v rozsahu  $90^\circ$  až  $-60^\circ$ ). Stává se tak novým příslibem na poli zkoušení ohybové tuhosti textilií.

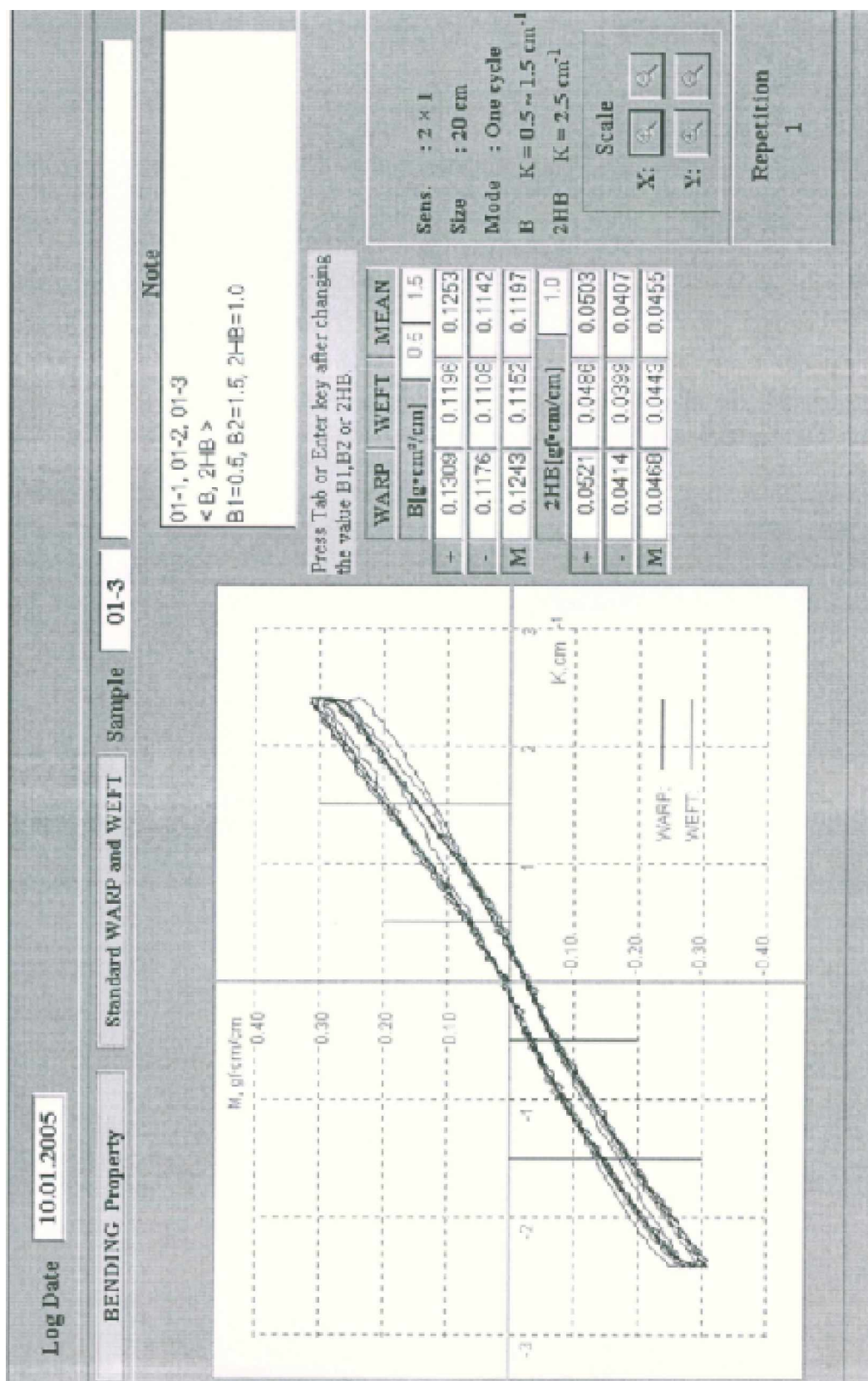
## **5 Seznam použité literatury**

- [1] HAVELKA, A., HALASOVÁ, A.: Tepelné a vlhkotepelné tvarování v konfekci
- [2] HES, J., FRIDRICHOVÁ, L.: Měření splývavosti tkaniny ohybem přes ostrý roh, STRUTEX, Liberec, 2001
- [3] KAWABATA, S.: The Standardization and Analysis of Hand Evaluation, 1980
- [4] KOVAČIČ, V.: Textilní zkušebnictví, Díl I, II, Skripta TU, Liberec, 2002
- [5] KŮS, Z., VARGOVÁ, H.: Příspěvek k měření splývavosti pomocí počítačového zpracování obrazu, STRUTEX, Liberec, 2000
- [5] MILITKÝ, J.: Textilní vlákna, Skripta TU, Liberec 2002
- [6] STANĚK, J.: Nauka o textilních materiálech, Skripta TU, Liberec, 1980
- [7] SKLÁROVÁ, S.: Analýza způsobů hodnocení omaku u vybraných plošných textilií, BP Liberec 2004
- [8] STRÍŽ, B.: Přibližná metoda stanovení ohybové tuhosti textilií, STRUTEX, 2001
- [9] VARGOVÁ, H.: Meranie splývavosti pomocou počítačového spracovania obrazu, DP Liberec 1999
- [10] VÍTOVÁ, J.: Studie vlastností oděvních materiálů na splývavost, BP Liberec 2001
- [11] USER'S MANUAL KES-FB SYSTÉM
- [12] ČSN 80 0858: Zkoušení tuhosti a pružnosti plošných textilií
- [13] ČSN 80 0835: Zkoušení splývavosti plošných textilií průmětem
- [14] [http://www.cba.muni.cz/vyuka/sources/biostaticky\\_seminar/korelace\\_regrese.pdf](http://www.cba.muni.cz/vyuka/sources/biostaticky_seminar/korelace_regrese.pdf)

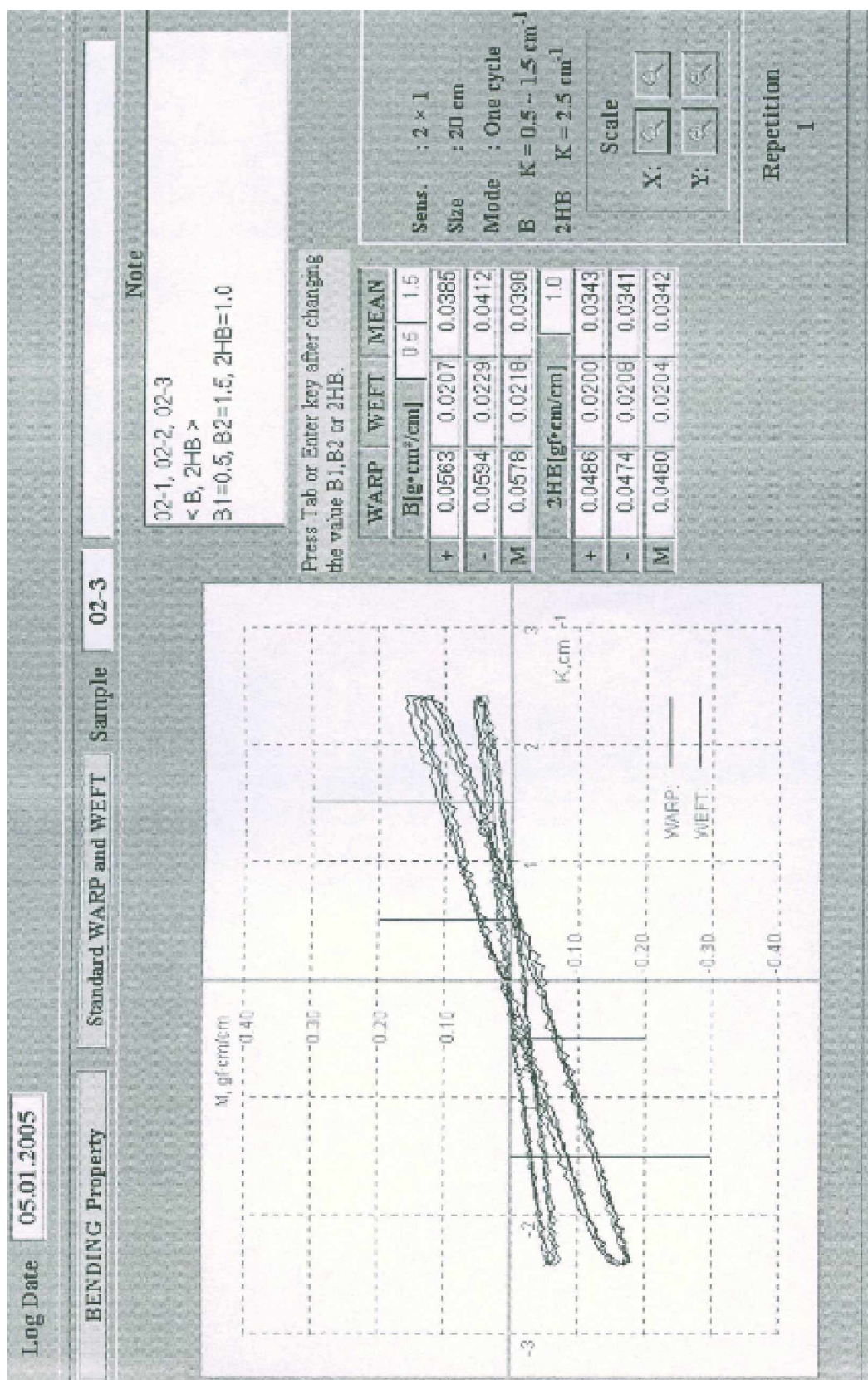
## 6 Seznam příloh

Číslo přílohy	Název přílohy	Citováno na straně
<b>P 1 – P 15</b>	<b>Vyhodnocení ohybové tuhosti z KES FB -2</b>	<b>strana 43</b>
<b>P 16</b>	<b>Měření na přístroji FLEXOMETR FF20</b>	<b>strana 38</b>
<b>P 17</b>	<b>Výsledná ohybová tuhost z měření na přístroji FLEXOMETR FF20</b>	<b>strana 38</b>
<b>P 18</b>	<b>Konstanta pro výpočet tuhosti na FLEXOMETR FF20</b>	<b>strana 38</b>
<b>P 19 – P 20</b>	<b>Měření na přístroji TH – 5</b>	<b>strana 40</b>
<b>P 21</b>	<b>Výsledná ohybová tuhost na přístroji TH - 5</b>	<b>strana 40</b>
<b>P 22</b>	<b>Měření gravimetrickou metodou</b>	<b>strana 42</b>
<b>P 23</b>	<b>Výsledná ohybová tuhost měřena gravimetrickou metodou</b>	<b>strana 42</b>
<b>P 24</b>	<b>Konstanta pro výpočet tuhosti gravimetrickou metodou</b>	<b>strana 42</b>
<b>P 25</b>	<b>Měření na přístroji KES FB - 2</b>	<b>strana 44</b>
<b>P 26</b>	<b>Výsledná ohybová tuhost na přístroji KES FB -2</b>	<b>strana 44</b>

## **Přílohová část**

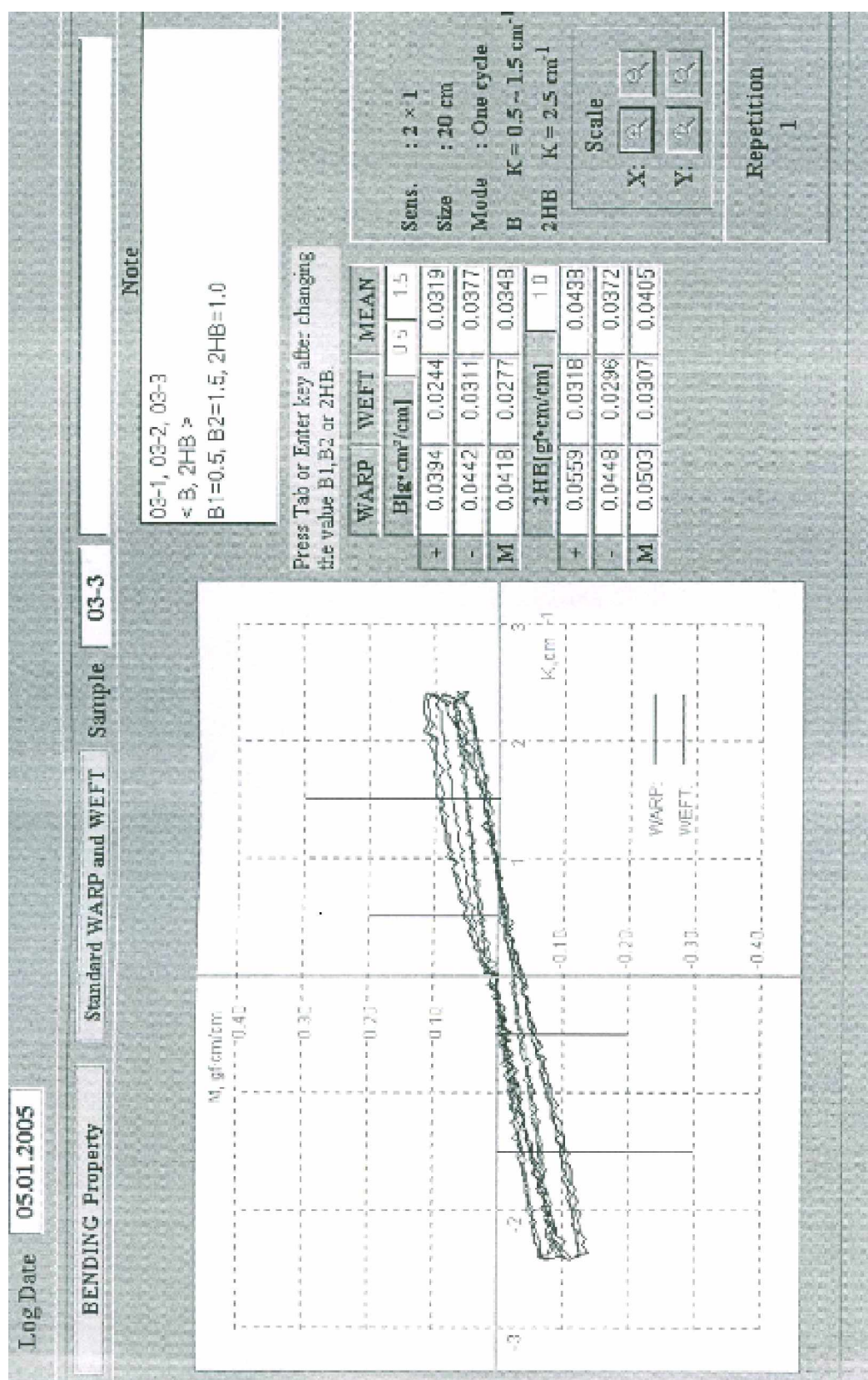


Obr. 1: Vyhodnocení ohybové tuhosti z KES FB -2 – materiál číslo 1

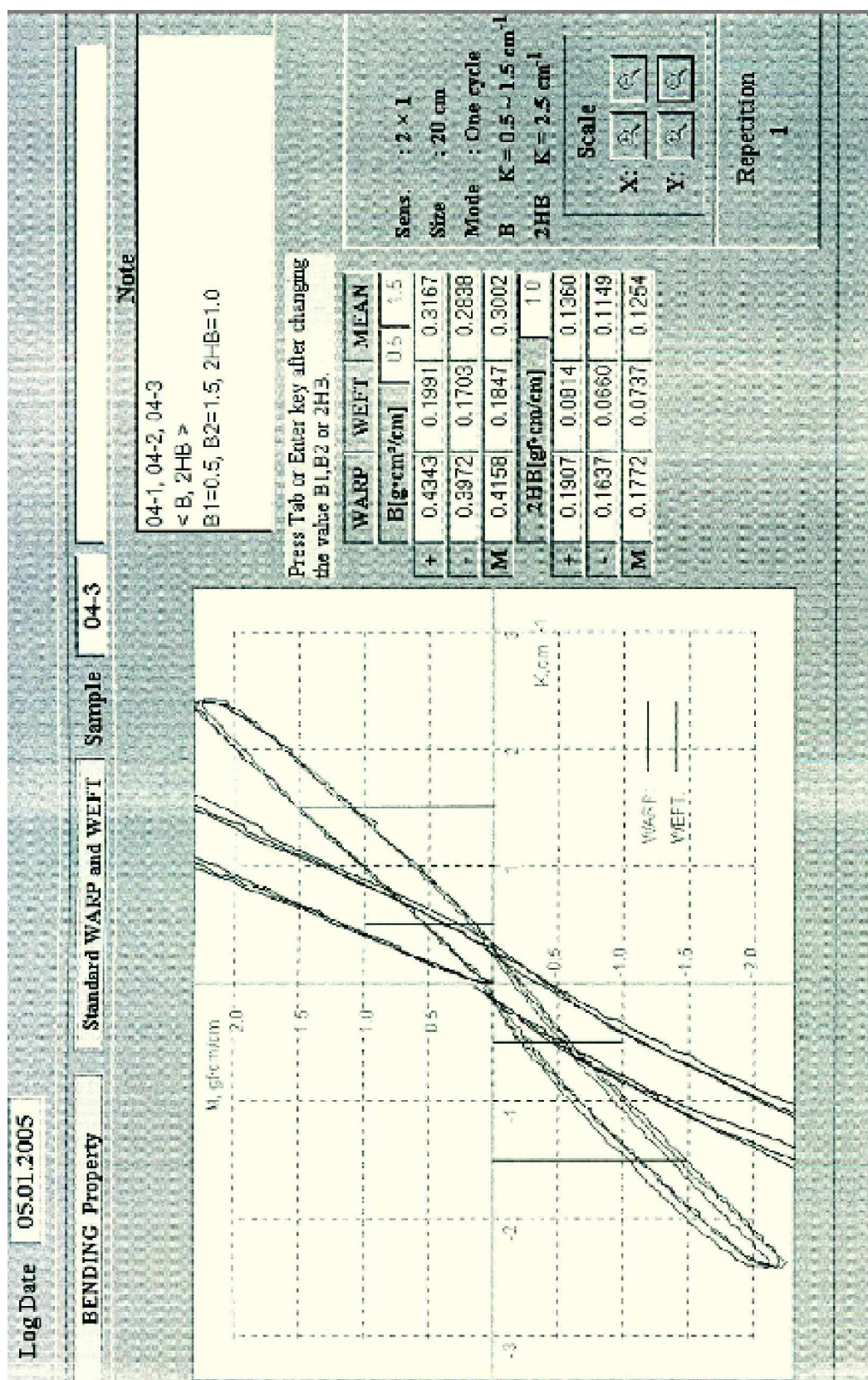


Obr. 2: Vyhodnocení ohybové tuhosti z KES FB -2 – materiál číslo 2



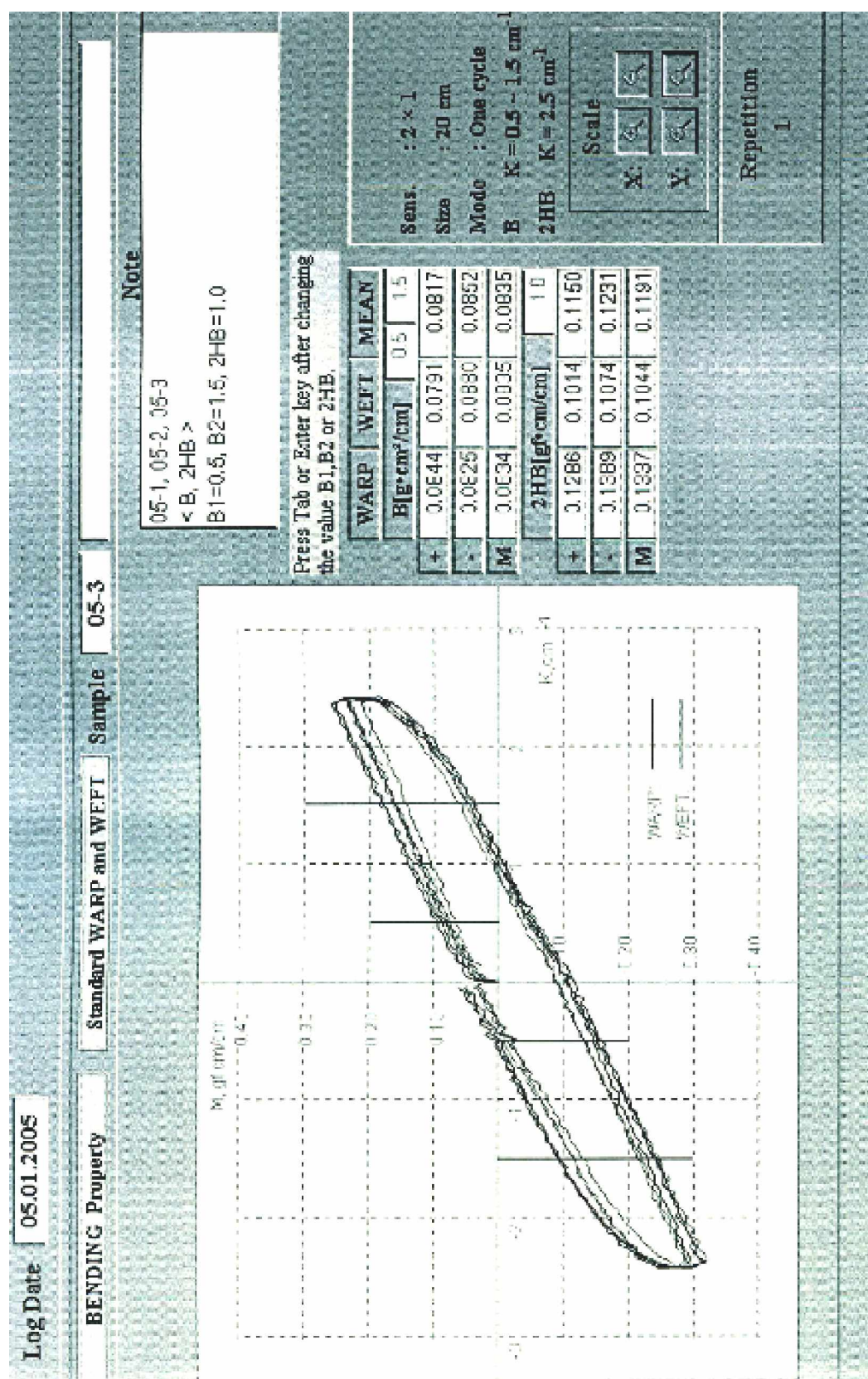


Obr. 3: Vyhodnocení ohybové tuhosti z KES FB -2 – materiál číslo 3



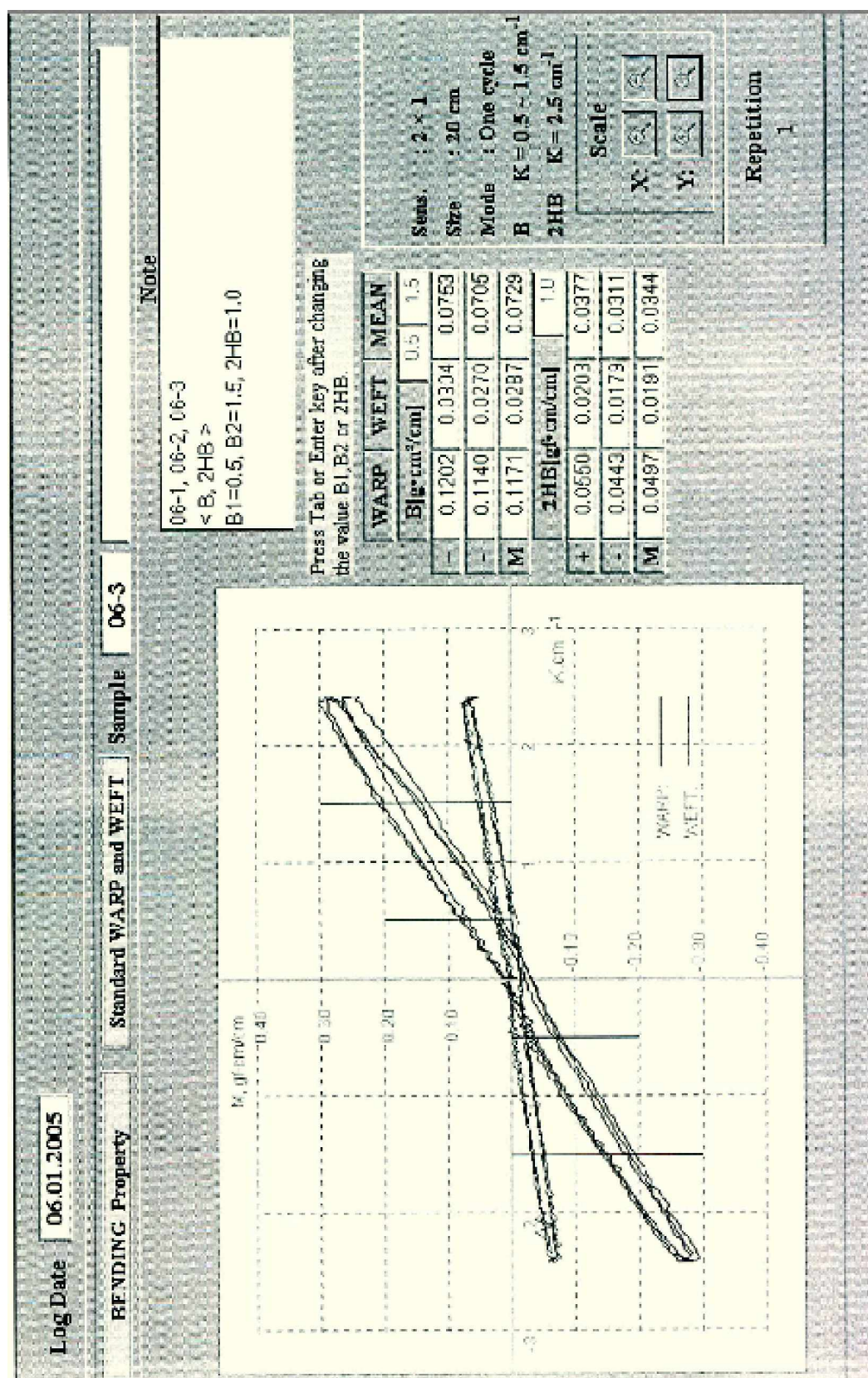
Obr. 4: Vyhodnocení ohybové tuhosti z KES FB -2 – materiál číslo 4





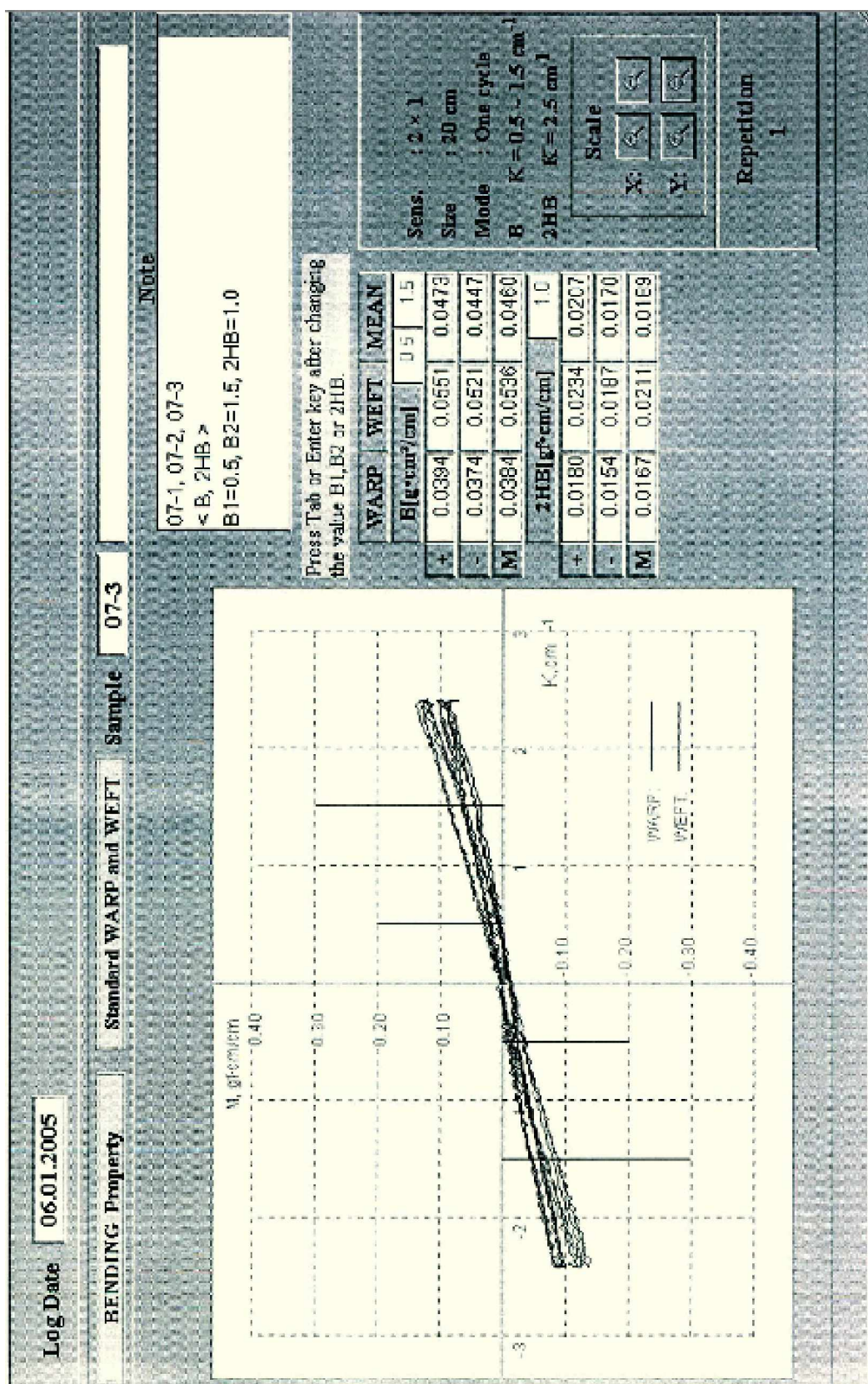
Obr. 5: Vyhodnocení ohybové tuhosti z KES FB -2 – materiál číslo 5





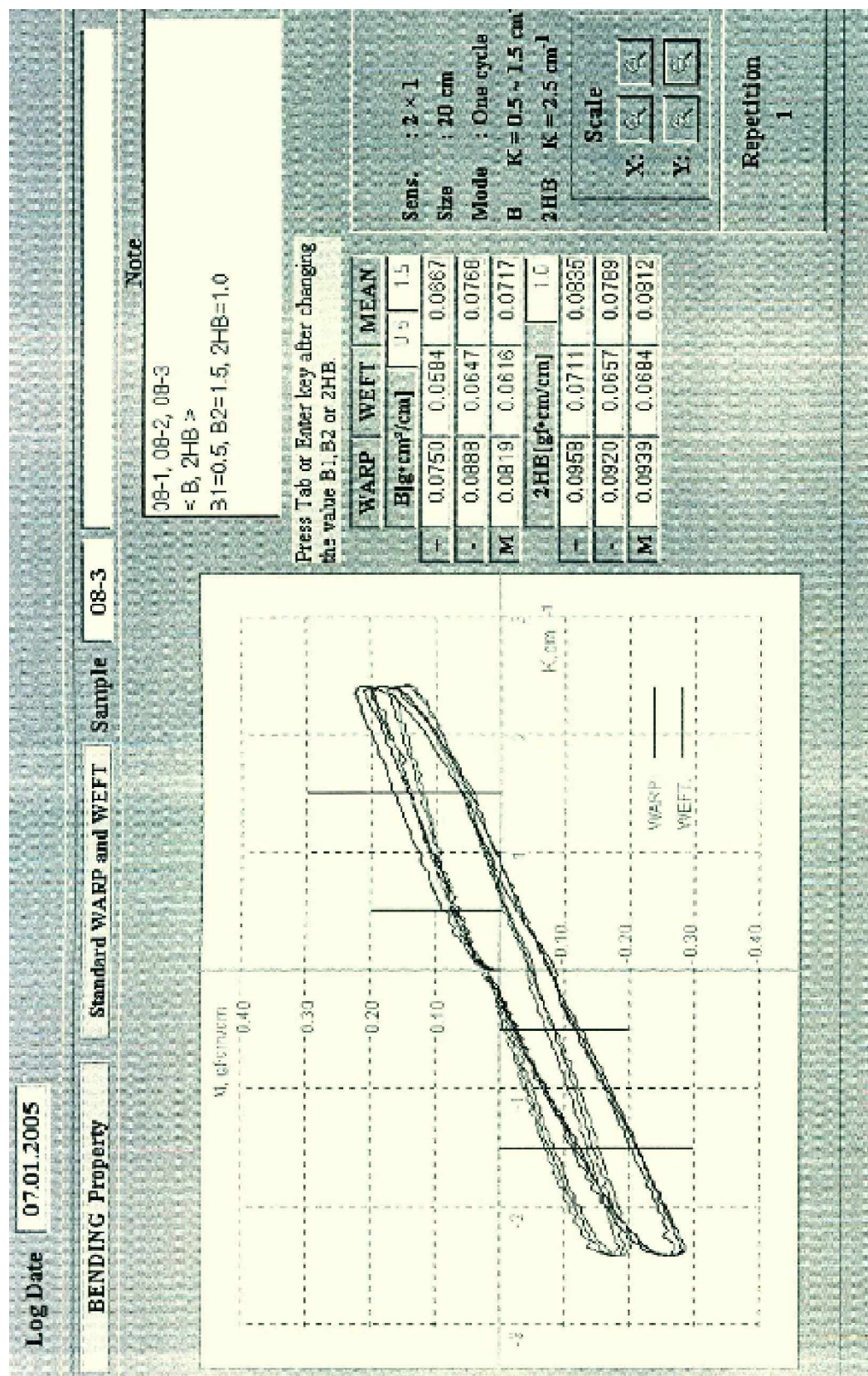
Obr. 6: Vyhodnocení ohybové tuhosti z KES FB -2 – materiál číslo 6





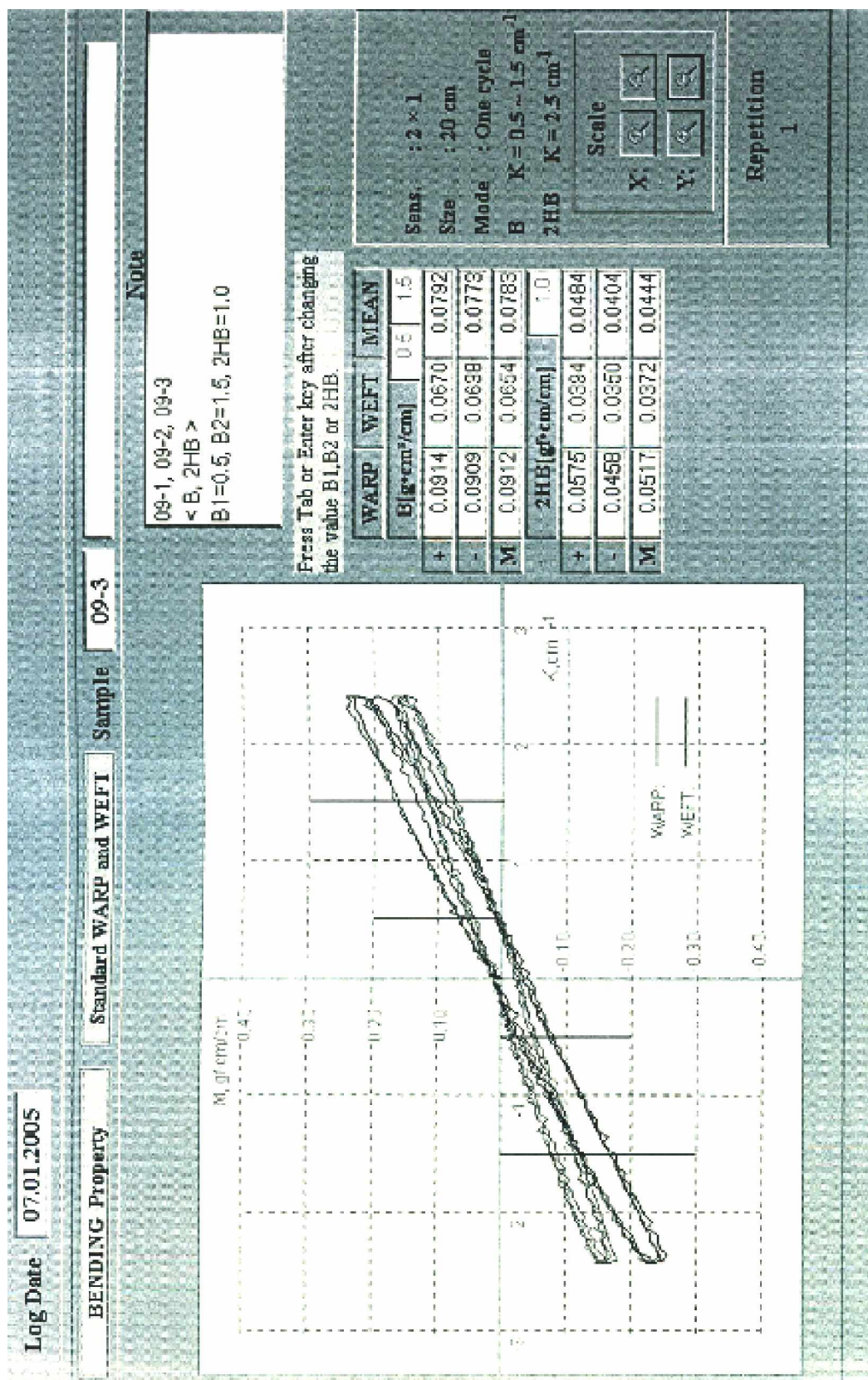
Obr. 7: Vyhodnocení ohybové tuhosti z KES FB -2 – materiál číslo 7





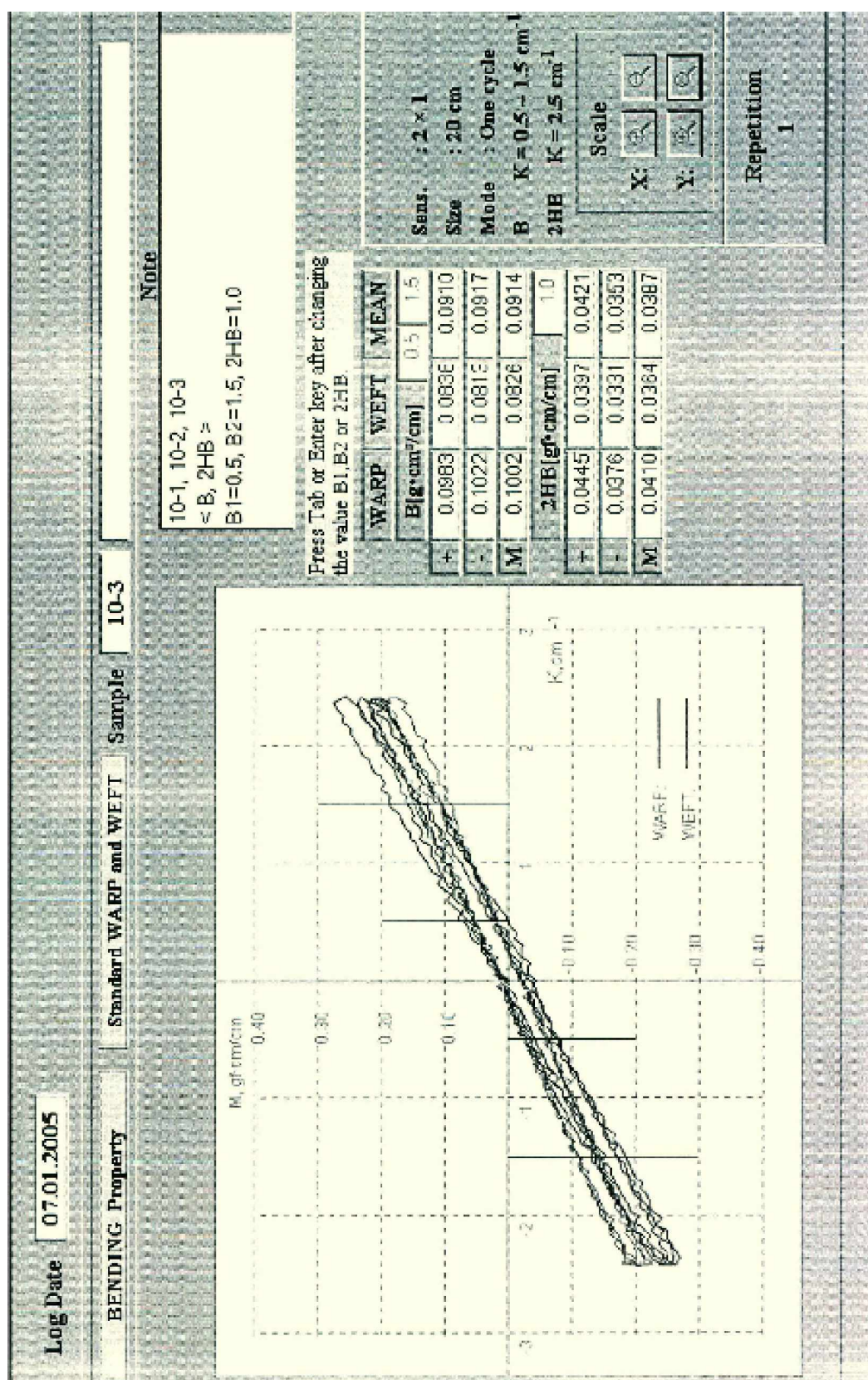
Obr. 8: Vyhodnocení ohybové tuhosti z KES FB -2 – materiál číslo 8





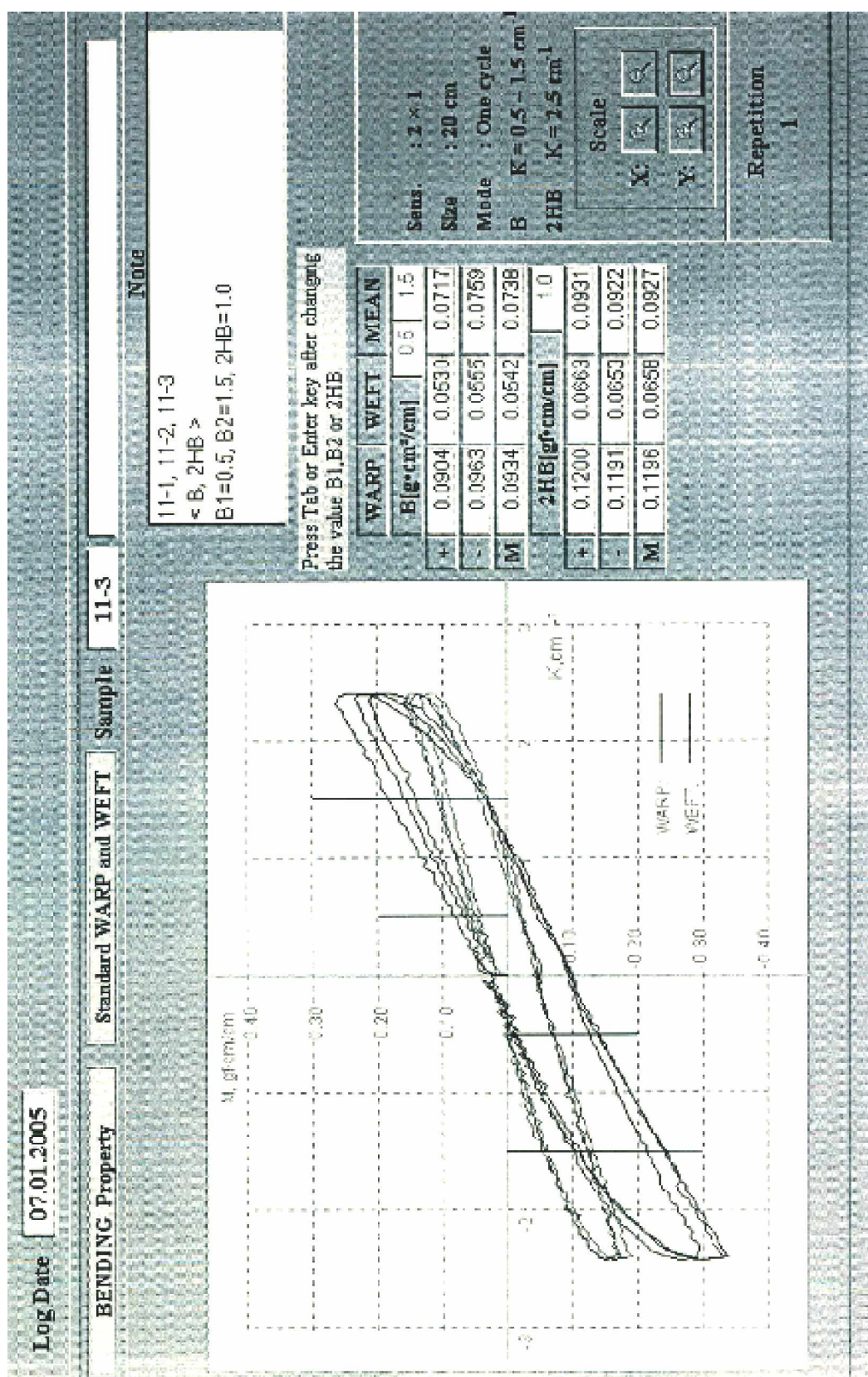
Obr. 9: Vyhodnocení ohybové tuhosti z KES FB -2 – materiál číslo 9





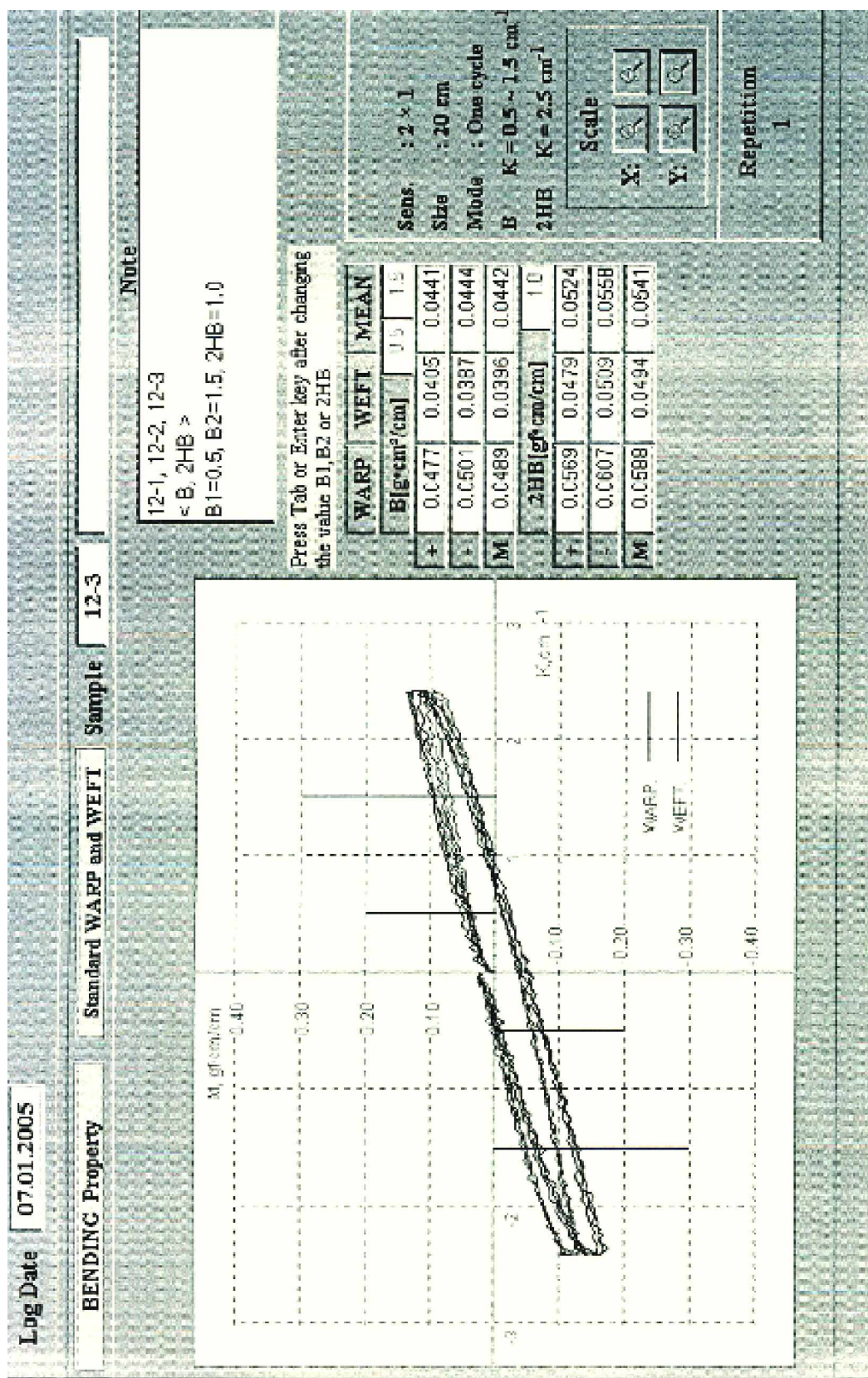
Obr. 10: Vyhodnocení ohybové tuhosti z KES FB -2 – materiál číslo 10





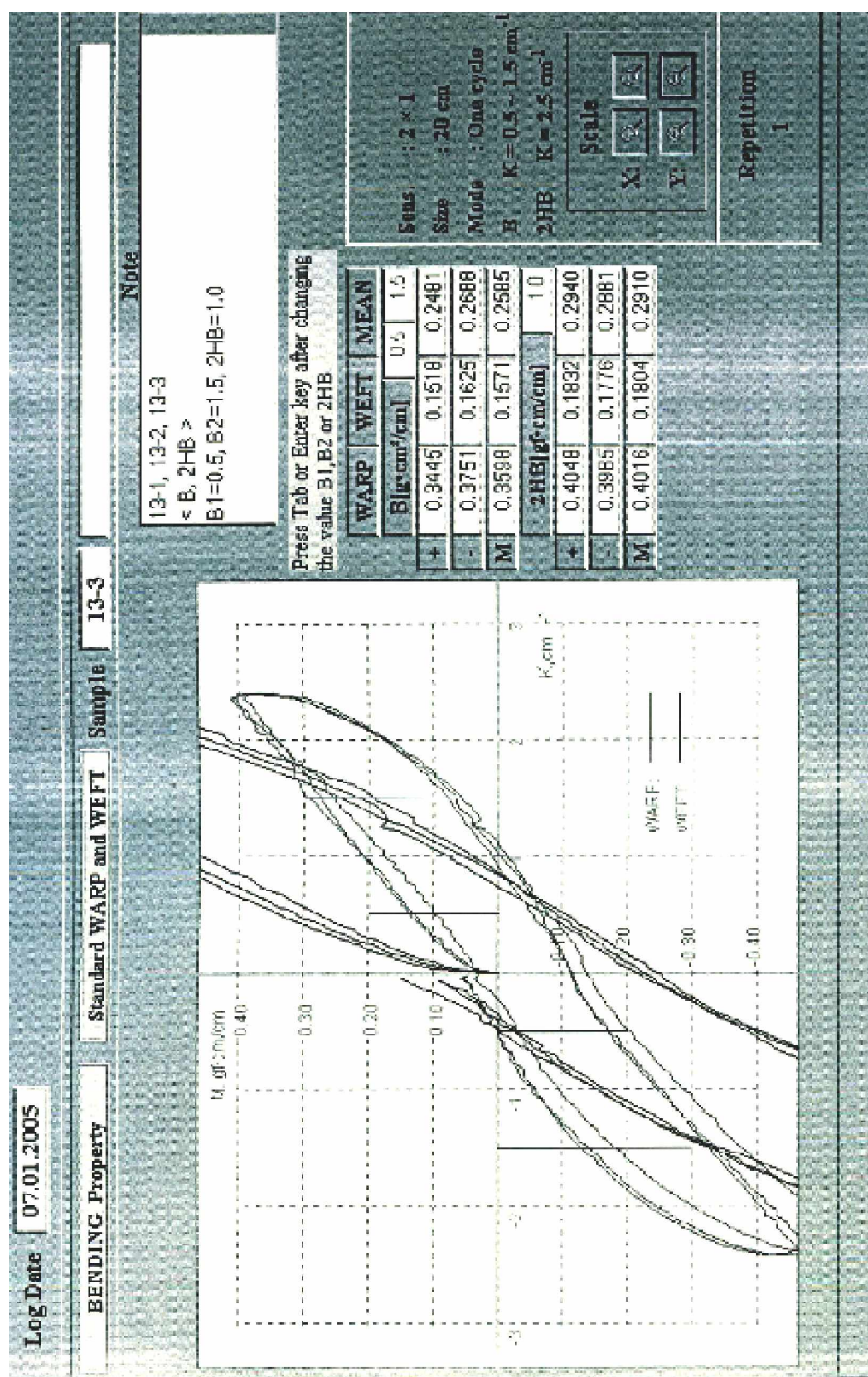
Obr. 11: Vyhodnocení ohybové tuhosti z KES FB -2 – materiál číslo 11





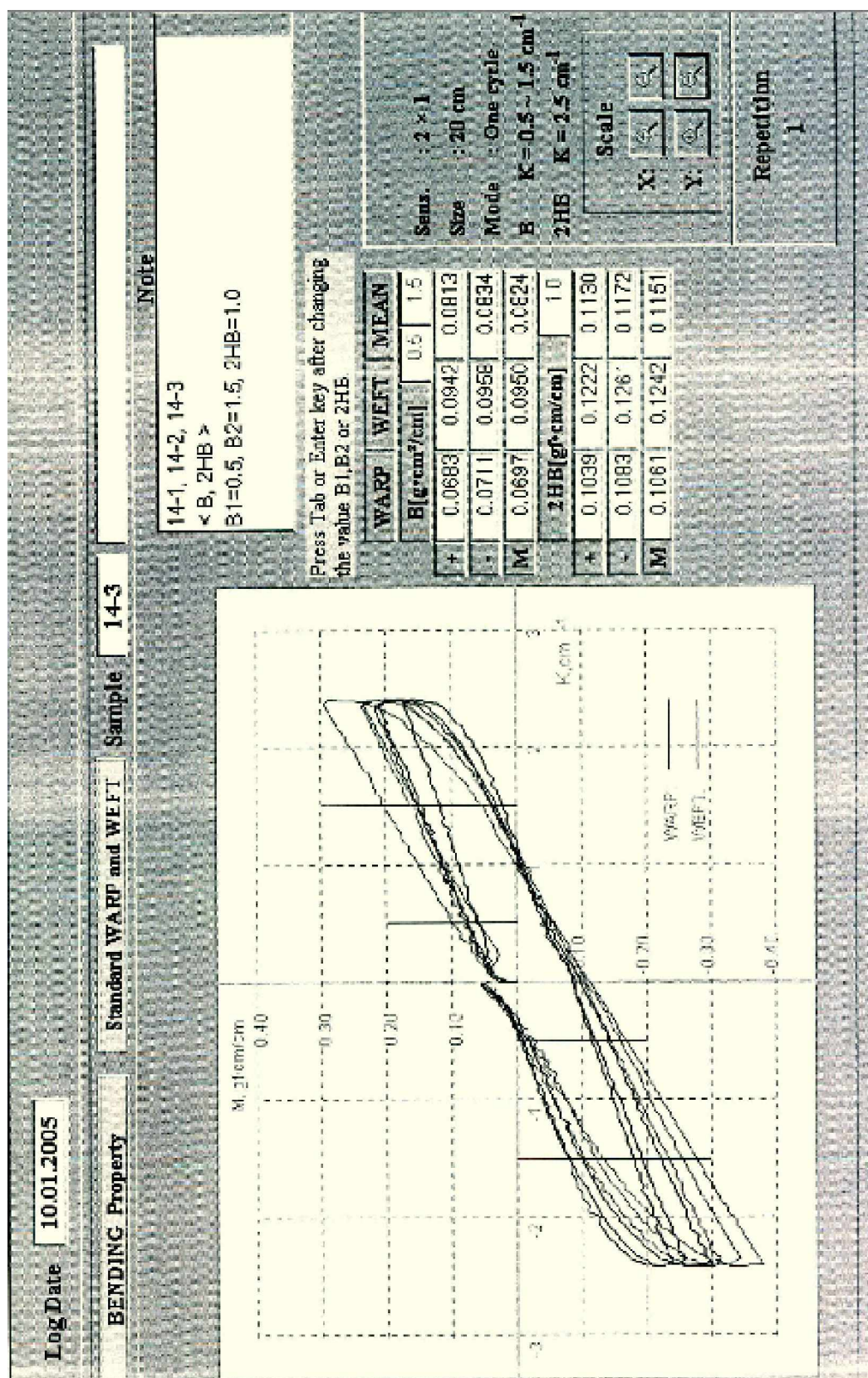
Obr. 12: Vyhodnocení ohybové tuhosti z KES FB -2 – materiál číslo 12





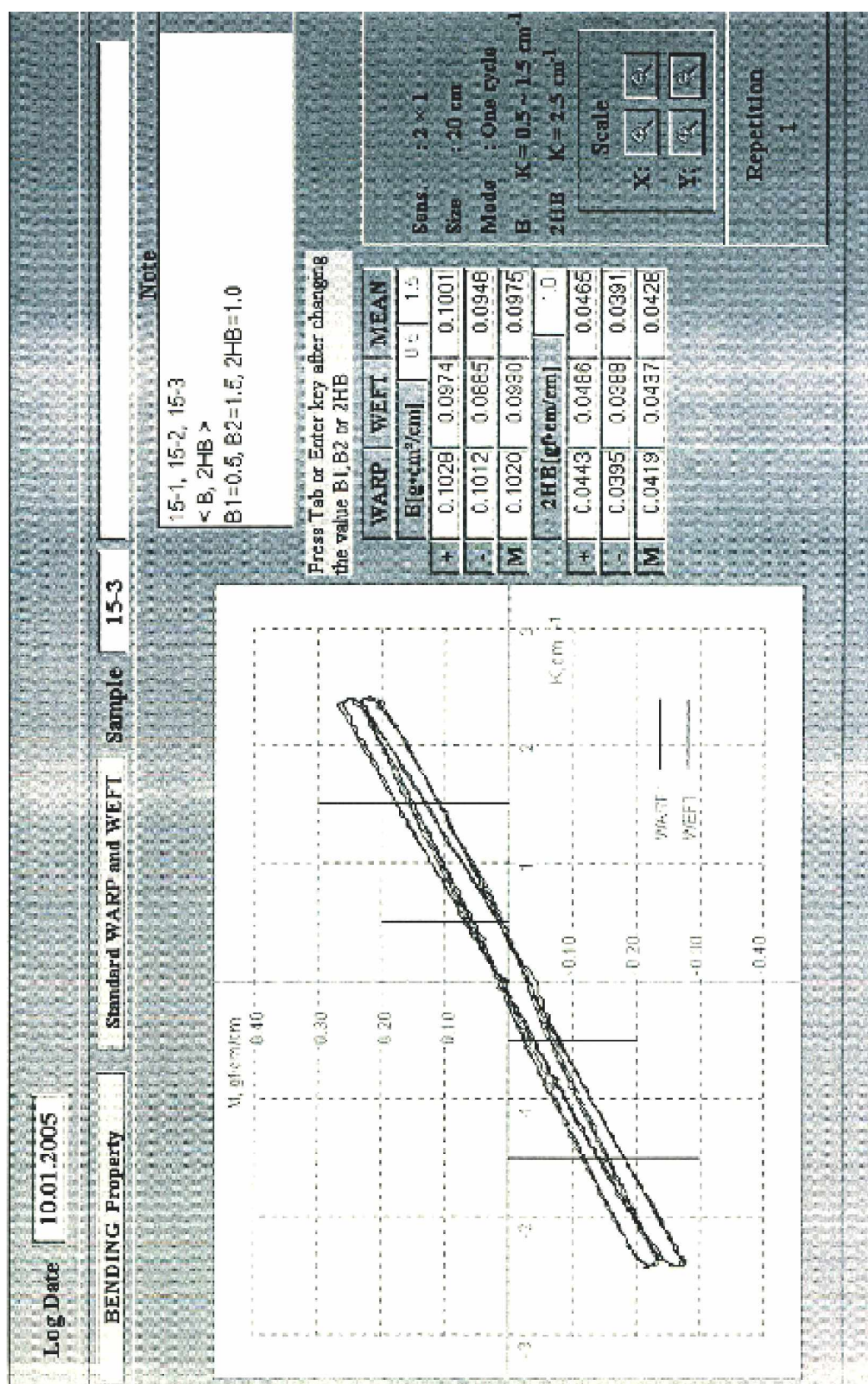
Obr. 13: Vyhodnocení ohybové tuhosti z KES FB -2 – materiál číslo 13





Obr. 14: Vyhodnocení ohybové tuhosti z KES FB -2 – materiál číslo 14





Obr.15: Vyhodnocení ohybové tuhosti z KES FB -2 – materiál číslo 15

Tabulka 2: Měření na přístroji FLEXOMETR FF20

Číslo materiálu	Ohybová tuhost měřena Flexometrem FF20 [ $\text{Nm}^2$ ] $\cdot 10^{-7}$			
	Osnova (líc)	Útek (líc)	Osnova(rub)	Útek (rub)
1.	3,83	3,71	4,31	3,87
2.	2,54	0,29	2,56	0,24
3.	0,92	1,33	1,63	1,43
4.	23,93	4,24	13,36	5,52
5.	2,40	3,48	2,15	3,86
6.	6,59	0,26	6,41	0,72
7.	4,07	2,39	3,80	2,60
8.	1,49	1,28	2,01	1,56
9.	2,66	2,47	2,66	2,67
10.	3,55	2,15	3,41	2,54
11.	4,91	1,01	5,51	1,59
12.	1,58	1,11	1,40	1,31
13.	18,45	9,81	0,14	5,42
14.	1,45	3,51	1,96	5,80
15.	3,17	2,73	3,77	3,59

Tabulka 3: Výsledná ohybová tuhost z měření na přístroji FLEXOMETR FF20

Výsledná ohybová tuhost měřena Flexometrem FF20 [Nm <sup>2</sup> ].10 <sup>-7</sup>	
Číslo materiálu	Průměrná tuhost materiálu [Nm <sup>2</sup> ].10 <sup>-7</sup>
1.	3,93
2.	1,41
3.	1,33
4.	11,76
5.	2,97
6.	3,5
7.	3,21
8.	1,58
9.	2,61
10.	2,91
11.	3,25
12.	1,35
13.	8,45
14.	3,18
15.	3,31
Průměrná hodnota [Nm <sup>2</sup> ].10 <sup>-7</sup>	3,65
Směrodatná odchylka [Nm <sup>2</sup> ].10 <sup>-7</sup>	2,82

Tabulka 3: Konstanta pro výpočet tuhosti na Flexometru FF20

$\Theta$ = stupeň	$K_{aji}$	$\Theta$ = stupeň	$K_{aji}$	$\Theta$ = stupeň	$K_{aji}$
1	7,1610	31	0,2005	61	0,0597
2	3,5790	32	0,1923	62	0,0570
3	2,3843	33	0,1846	63	0,0543
4	1,7865	34	0,1772	64	0,0517
5	1,4274	35	0,1703	65	0,0492
6	1,1877	36	0,1636	66	0,0467
7	1,0161	37	0,1573	67	0,0442
8	0,8873	38	0,1513	68	0,0419
9	0,7868	39	0,1455	69	0,0395
10	0,7062	40	0,1400	70	0,0373
11	0,6401	41	0,1347	71	0,0350
12	0,5849	42	0,1296	72	0,0329
13	0,5380	43	0,1247	73	0,0307
14	0,4976	44	0,1200	74	0,0286
15	0,4625	45	0,1155	75	0,0266
16	0,4317	46	0,1111	76	0,0246
17	0,4044	47	0,1069	77	0,0226
18	0,3800	48	0,1028	78	0,0206
19	0,3580	49	0,0989	79	0,0187
20	0,3382	50	0,0951	80	0,0169
21	0,3202	51	0,0914	81	0,0151
22	0,3037	52	0,0878	82	0,0133
23	0,2887	53	0,0843	83	0,0115
24	0,2746	54	0,0809	84	0,0098
25	0,2617	55	0,0776	85	0,0081
26	0,2497	56	0,0744	86	0,0064
27	0,2385	57	0,0713	87	0,0048
28	0,2281	58	0,0683	88	0,0031
29	0,2183	59	0,0654	89	0,0016
30	0,2091	60	0,0625	90	0,0000

Tabulka 4: Měření na přístroji TH – 5

Síla F působící na vzorek [N]		Číslo materiálu									
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
	Osnova (vzorek upnut lícem nahoru)	6,88	3,42	2,15	17,19	7,31	5,6	5,53	2,22	4,73	4,95
		6,79	3,2	2,21	17,34	8,49	5,18	4,71	2,27	4,67	5,03
		6,8	3,28	2,28	18,5	7,25	5,1	4,79	2,45	4,81	5,18
		6,58	3,36	2,24	16,81	8,05	5,22	5,15	2,33	4,67	5,12
		6,36	3,35	2,26	16,94	7,07	5,05	5,41	1,93	4,72	4,86
	Útek (vzorek upnut lícem nahoru)	5,75	1,19	1,79	9,25	7,56	1,63	3,74	1,87	3,68	5
		5,47	1,37	1,61	8,84	7,05	1,65	3,65	1,97	3,31	4,35
		5,52	1,42	1,42	8,27	7,11	1,49	3,81	1,87	3,58	4,76
		5,64	1,45	1,61	8,3	6,98	1,42	3,61	1,93	3,62	4,91
		5,66	1,4	1,64	7,29	6,94	1,47	4,09	2,34	3,47	5,12
	Osnova (vzorek upnut rubem nahoru)	6,12	3,15	2,13	16,84	8,19	4,64	5,95	2,24	4,77	5,28
		6,18	3,14	2,2	16,79	8,31	4,65	4,68	2,19	4,58	5,42
		6,54	3,21	2,25	16,17	8,24	4,67	4,78	2,12	4,71	5,51
		7,05	3,22	2,07	17,88	8,01	4,51	5,48	2,35	4,86	5,36
		6,83	3,07	2,21	16,45	7,17	5,02	4,94	2,34	4,92	5,11
	Útek (vzorek upnut rubem nahoru)	6,93	1,48	1,67	8,69	6,64	1,5	3,57	1,85	3,44	4,74
		6,03	1,32	1,59	8,14	6,84	1,5	3,74	1,81	3,46	4,48
		6,25	1,38	1,46	8,58	7,1	1,51	3,93	1,77	3,68	4,87
		5,84	1,39	1,44	8,21	6,73	1,54	4,01	1,88	3,66	4,56
		6,15	1,47	1,39	7,5	6,62	1,6	4,1	1,73	4,19	4,91

Tabulka 5: Měření na přístroji TH – 5

Síla F působící na vzorek [N]			Číslo materiálu				
			11.	12.	13.	14.	15.
	Osnova (vzorek upnut lícem nahoru)		6,33	3,56	17,22	7,85	6,01
			5,98	3,51	19,15	7,22	6,07
			6,87	3,06	18,72	7,78	6,10
			6,07	3,66	19,94	8,56	6,25
			6,27	3,42	22,10	7,54	5,22
	Útek (vzorek upnut lícem nahoru)		3,29	3,03	9,53	6,18	4,96
			3,34	3,24	9,92	6,15	4,52
			2,82	3,08	11,12	6,05	5,07
			3,10	3,28	11,56	6,46	5,12
			2,75	2,86	11,80	6,12	5,45
	Osnova (vzorek upnut rubem nahoru)		6,38	2,99	19,10	7,79	5,09
			5,89	3,67	25,10	6,79	4,99
			5,69	3,11	26,20	6,90	5,12
			6,69	3,00	24,00	6,87	6,08
			5,98	3,48	10,51	8,47	5,69
	Útek (vzorek upnut rubem nahoru)		2,96	2,97	10,26	6,15	5,45
			3,55	3,14	11,20	5,53	5,19
			3,39	3,15	9,41	6,14	4,48
			3,00	2,99	9,43	6,45	6,05
			2,97	3,21	10,51	6,54	4,86



Tabulka 6: Výsledná ohybová tuhost na přístroji TH – 5

Ohybová tuhost měřena na přístroji TH - 5 $[\text{Nm}^2] \cdot 10^{-5}$	
Číslo materiálu	Průměrná tuhost materiálu $[\text{Nm}^2] \cdot 10^{-5}$
1.	6,27
2.	2,31
3.	1,88
4.	12,7
5.	7,38
6.	3,25
7.	4,48
8.	2,04
9.	4,13
10.	4,98
11.	4,67
12.	3,22
13.	15,98
14.	6,88
15.	5,39
Průměrná hodnota $[\text{Nm}^2] \cdot 10^{-5}$	5,70
Směrodatná odchylka $[\text{Nm}^2] \cdot 10^{-5}$	3,93

Tabulka 7: Měření gravimetrickou metodou

Číslo materiálu	Ohybová tuhost T měřena gravimetrickou metodou [Nm <sup>2</sup> ] .10 <sup>-7</sup>			
Materiál 1	Osnova/ levá strana	Útek / levá strana	Osnova / pravá strana	Útek / pravá strana
Líc	5,12	5,25	4,10	4,37
Rub	4,00	5,61	3,85	4,31
Materiál 2				
Líc	5,10	7,69	2,29	1,16
Rub	2,73	8,28	1,53	1,34
Materiál 3				
Líc	2,08	1,25	1,99	1,26
Rub	1,79	1,39	1,77	1,00
Materiál 4				
Líc	1,22	6,14	6,66	5,40
Rub	1,63	4,79	6,86	5,66
Materiál 5				
Líc	2,49	3,02	3,30	2,36
Rub	2,81	3,03	3,64	2,33
Materiál 6				
Líc	1,59	8,89	2,29	1,16
Rub	2,44	0,83	1,53	1,34
Materiál 7				
Líc	2,69	2,65	3,70	2,24
Rub	3,15	1,92	3,45	2,09
Materiál 8				
Líc	1,23	1,08	1,13	1,03
Rub	4,30	1,83	2,15	1,85
Materiál 9				
Líc	3,29	2,82	3,04	2,14
Rub	2,96	2,45	3,38	1,95
Materiál 10				
Líc	3,19	3,37	2,45	2,75
Rub	4,41	3,43	3,35	3,43
Materiál 11				
Líc	3,24	1,97	2,77	2,48
Rub	3,50	2,10	2,75	2,05
Materiál 12				
Líc	2,75	1,58	2,68	2,19
Rub	2,44	2,09	2,32	2,28
Materiál 13				
Líc	1,67	7,56	1,23	7,29
Rub	1,08	5,83	7,93	4,89
Materiál 14				
Líc	3,21	4,26	3,14	2,56
Rub	3,24	4,43	3,45	2,62
Materiál 15				
Líc	4,74	4,16	3,73	2,95
Rub	4,27	3,30	4,09	3,33

**Tabulka 8: Výsledná ohybová tuhost měřena gravimetrickou metodou**

<b>Ohybová tuhost měřena gravimetrickou metodou <math>[\text{Nm}^2] \cdot 10^{-7}</math></b>	
<b>Číslo materiálu</b>	<b>Průměrná tuhost materiálu <math>[\text{Nm}^2] \cdot 10^{-7}</math></b>
1.	4,58
2.	3,76
3.	1,57
4.	4,80
5.	2,87
6.	2,51
7.	2,74
8.	1,83
9.	2,75
10.	3,30
11.	2,61
12.	2,29
13.	4,68
14.	3,36
15.	3,82
<b>Průměrná hodnota <math>[\text{Nm}^2] \cdot 10^{-7}</math></b>	<b>3,16</b>
<b>Směrodatná odchylka <math>[\text{Nm}^2] \cdot 10^{-7}</math></b>	<b>1,00</b>

Tabulka 9: Konstanta pro výpočet tuhosti gravimetrickou metodou

rad $\nu$	$K_{aji}$	rad $\nu$	$K_{aji}$	rad $\nu$	$K_{aji}$
0,10	1,25816	0,42	0,26591	0,74	0,12796
0,11	1,12450	0,43	0,25992	0,75	0,12472
0,12	1,04148	0,44	0,25191	0,76	0,12233
0,13	0,94744	0,45	0,24591	0,77	0,11925
0,14	0,88726	0,46	0,24591	0,78	0,11698
0,15	0,81770	0,47	0,23855	0,79	0,11401
0,16	0,77214	0,48	0,23324	0,80	0,11183
0,17	0,73135	0,49	0,22811	0,81	0,10899
0,18	0,68279	0,50	0,22274	0,82	0,10690
0,19	0,65030	0,51	0,21675	0,83	0,10484
0,20	0,61130	0,52	0,21062	0,84	0,10215
0,21	0,56841	0,53	0,20619	0,85	0,10018
0,22	0,55278	0,54	0,20047	0,86	0,09759
0,23	0,53073	0,55	0,19632	0,87	0,09569
0,24	0,50395	0,56	0,19097	0,88	0,09136
0,25	0,48538	0,57	0,18709	0,89	0,09075
0,26	0,46805	0,58	0,18331	0,90	0,08956
0,27	0,44663	0,59	0,17842	0,91	0,08719
0,28	0,41763	0,60	0,17486	0,92	0,08545
0,29	0,41295	0,61	0,17026	0,93	0,08316
0,30	0,40020	0,62	0,16690	0,94	0,08148
0,31	0,38385	0,63	0,16255	0,95	0,07926
0,32	0,37616	0,64	0,15934	0,96	0,07764
0,33	0,36134	0,65	0,15525	0,97	0,07550
0,34	0,34788	0,66	0,15226	0,98	0,07396
0,35	0,33822	0,67	0,14836	0,99	0,07236
0,36	0,32601	0,68	0,14551	1,00	0,07032
0,37	0,31733	0,69	0,14272	1,01	0,06881
0,38	0,30634	0,70	0,13908	1,02	0,06683
0,39	0,29852	0,71	0,13641	1,03	0,06441
0,40	0,28146	0,72	0,13297	1,04	0,06345
0,41	0,27462	0,73	0,13040		

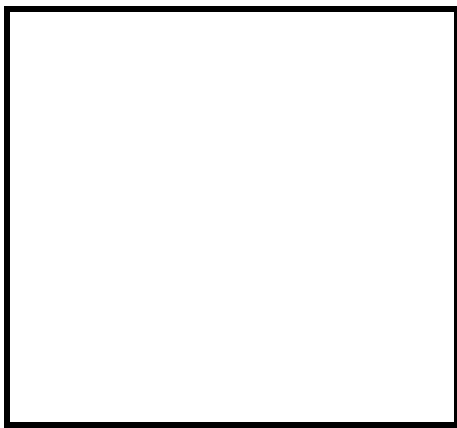
Tabulka 10: Měření na přístroji KES FB – 2

Číslo materiálu	Ohybová tuhost na přístroji KES FB – 2; OSNOVA [Nm <sup>2</sup> /m] .10 <sup>-4</sup>			Ohybová tuhost na přístroji KES FB – 2; ÚTEK [Nm <sup>2</sup> /m] .10 <sup>-4</sup>		
1.	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,10
2.	0,05	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02
3.	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
4.	0,43	0,43	0,37	0,18	0,18	0,18
5.	0,83	0,09	0,08	0,09	0,08	0,08
6.	0,12	0,11	0,12	0,03	0,03	0,03
7.	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
8.	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,06
9.	0,09	0,08	0,09	0,07	0,06	0,07
10.	0,09	0,10	0,11	0,07	0,09	0,08
11.	0,08	0,10	0,09	0,05	0,06	0,05
12.	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
13.	0,37	0,36	0,33	0,16	0,14	0,16
14.	0,07	0,06	0,08	0,09	0,08	0,10
15.	0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09

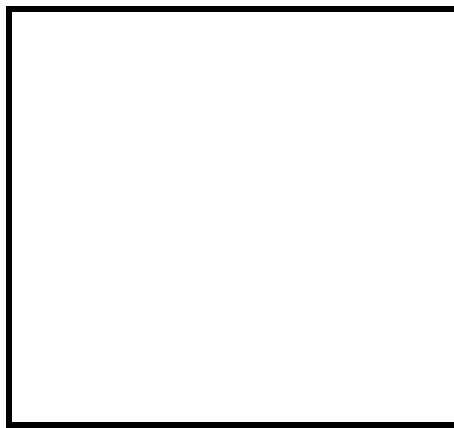
Tabulka 9: Výsledná ohybová tuhost na přístroji KES FB -2

<b>Ohybová tuhost na přístroji KES FB – 2; [Nm<sup>2</sup>/m] .10<sup>-4</sup></b>	
<b>Číslo materiálu</b>	<b>Průměrná tuhost materiálu [Nm<sup>2</sup>/m] .10<sup>-4</sup></b>
1.	0,12
2.	0,04
3.	0,03
4.	0,29
5.	0,21
6.	0,07
7.	0,05
8.	0,07
9.	0,08
10.	0,09
11.	0,07
12.	0,04
13.	0,25
14.	0,08
15.	0,10
<b>Průměrná hodnota [Nm<sup>2</sup>/m] .10<sup>-4</sup></b>	<b>0,11</b>
<b>Směrodatná odchylka [Nm<sup>2</sup>/m] .10<sup>-4</sup></b>	<b>0,08</b>

## **Vzorky materiálů**



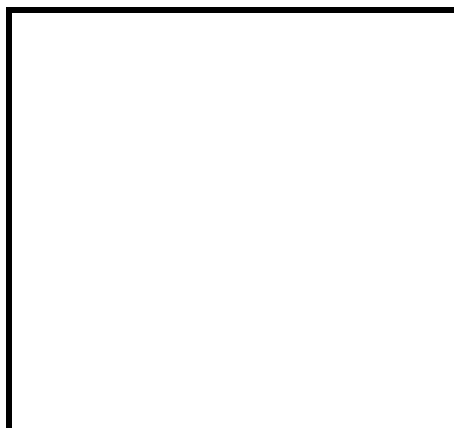
Materiál číslo 1



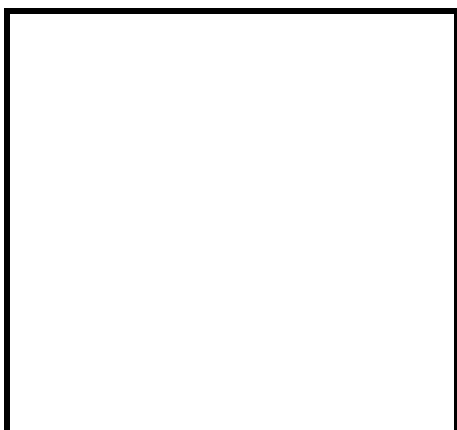
Materiál číslo 2



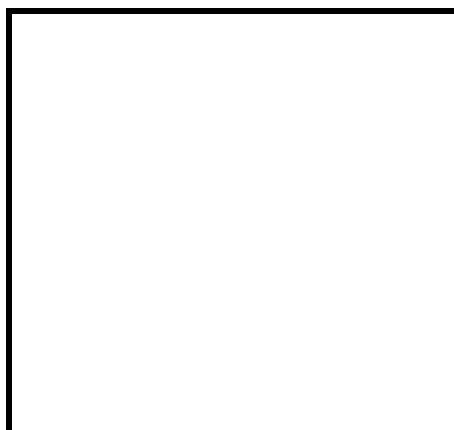
Materiál číslo 3



Materiál číslo 4



Materiál číslo 5



Materiál číslo 6





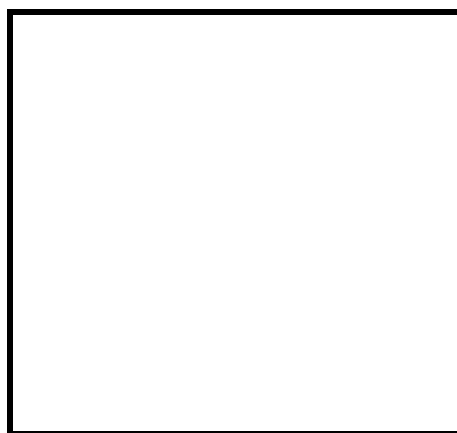
Materiál číslo 7



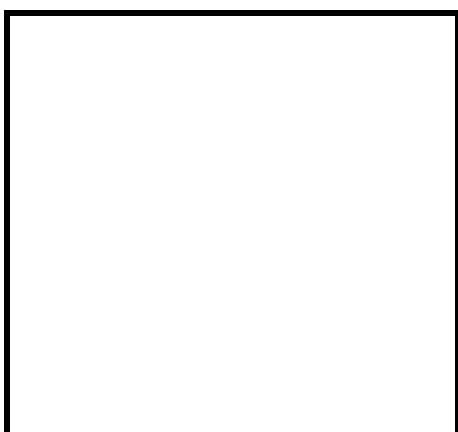
Materiál číslo 8



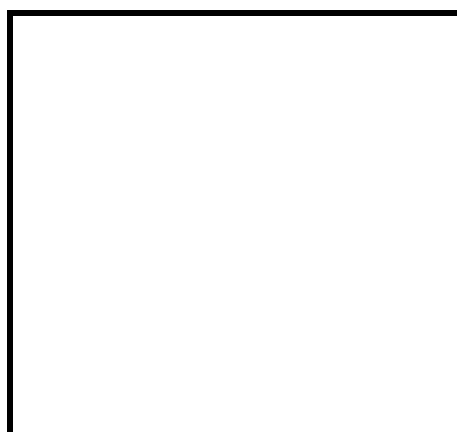
Materiál číslo 9



Materiál číslo 10



Materiál číslo 11



Materiál číslo 12



Materiál číslo 13



Materiál číslo 14



Materiál číslo 15